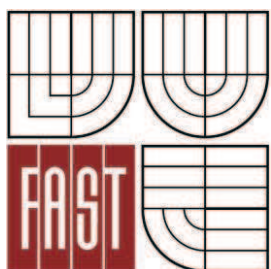




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

KOMBINOVANÁ VÝROBA TEPLA A ELEKTRICKÉ ENERGIE

THE COMBINED PRODUCTION OF HEAT AND ELECTRICITY

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. MICHAL TALAČ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MARCELA POČINKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

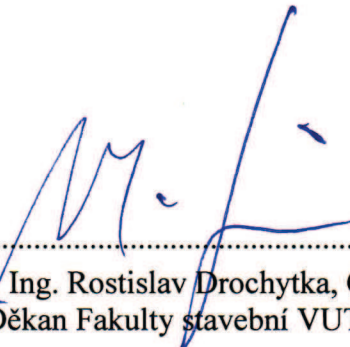
Studijní program N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3608T001 Pozemní stavby
Pracoviště Ústav technických zařízení budov

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant Bc. MICHAL TALAČ
Název Kombinovaná výroba tepla a elektrické energie
Vedoucí diplomové práce Ing. Marcela Počinková, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce 31. 3. 2013
Datum odevzdání diplomové práce 17. 1. 2014

V Brně dne 31. 3. 2013


.....
doc. Ing. Jiří Hirš, CSc.
Vedoucí ústavu


.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT



Podklady a literatura

1. Stavební dokumentace zadané budovy
2. Aktuální legislativa ČR
3. České i zahraniční technické normy
4. Odborná literatura
5. Zdroje na internetu

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Práce bude zpracována v souladu s platnými předpisy (zákony a vyhláškami, normami) pro navrhování zařízení techniky staveb.

A. Analýza tématu, cíle a metody řešení

Analýza zadaného tématu, normové a legislativní podklady

Cíl práce, zvolené metody řešení

Aktuální technická řešení v praxi

Teoretické řešení (s využitím fyzikální podstaty dějů)

Experimentální řešení (popis metody a přístrojové techniky)

Řešení využívající výpočetní techniku.

B. Aplikace tématu na zadané budově - koncepční řešení

Návrh technického řešení ve 2 až 3 variantách v zadané specializaci (včetně doložených výpočtů) v rozpracovanosti rozšířeného projektu pro stavební povolení: půdorysy v měřítku 1:100, stručná technická zpráva

Ideové řešení navazujících profesí TZB (ZTI, UT, VZT) v zadané budově

Hodnocení navržených variant řešení z hlediska vnitřního prostředí, uživatelského komfortu, prostorových nároků, ekonomiky provozu, dopadu na životní prostředí apod.;

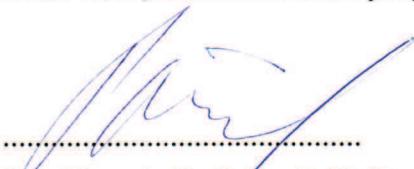
C1. Experimentální řešení a zpracování výsledků

Experiment realizovaný v laboratoři nebo reálné budově postihující dílčí část zadané problematiky.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).


.....
Ing. Marcela Počinková, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem kogenerační jednotky, jejího dimenzování a optimalizací provozu. V první, teoretické části, jsou vysvětleny principy kogenerace a s ní spojené výhody a nevýhody, popsány jsou jednotlivé typy jednotek, jejich hlavní komponenty a je popsána i vhodnost jejich nasazení v jednotlivých typech budov. Druhá část této práce se zabývá samotným návrhem kogenerační jednotky v daném objektu. Návrh kogenerační jednotky se skládá od samotného zhodnocení objektu, přes výběr vhodných jednotek, optimalizaci vybrané řady kogeneračních jednotek, po závěrečnou finanční analýzu. Součástí diplomové práce je také výkresová část, která zobrazuje stávající stav otopné soustavy a následně schéma s možným zapojením kogenerační jednotky do stávajícího systému.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla, kogenerace, kogenerační jednotka

ABSTRACT

This thesis describes the design of a cogeneration unit, its design and operational optimization. The theoretical part explains the principles of cogeneration and the associated advantages and disadvantages, also describes the different types of units and their main components and their suitability for use in various types of buildings. The second part of this thesis deals with a design of cogeneration unit in selected building. Design of cogeneration unit consists of evaluation of the object itself, through the selection of suitable units, optimization of a selected range of cogeneration units, to the final financial analysis. The part of the thesis are also project drawings, which shows the current status of the heating system and subsequently scheme with the possible involvement of cogeneration units in the existing system.

KEYWORDS

Combined production of heat and electricity, cogeneration, CHP unit

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Michal Talač *Kombinovaná výroba tepla a elektrické energie*. Brno, 2014. 117 s., 30 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce Ing. Marcela Počinková, Ph.D..

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 7.1.2014

A handwritten signature in blue ink, reading "Michal Talač". The signature is written in a cursive style with a horizontal line extending from the end of the name.

.....
podpis autora
Bc. Michal Talač

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucí mé diplomové práce, Ing. Marcele Počinkové, Ph.D., za cenné rady a náměty, které byly při psaní této práce nepostradatelné. Poděkování patří také zaměstnancům společnosti ESL, a.s. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat Ing. Vlastimilu Dvořákovi za ochotu při konzultacích. Dovolte mi rovněž poděkovat mým rodičům, bez jejichž podpory mého studia by tato práce nikdy nemohla vzniknout.

OBSAH

A. TEORETICKÁ ČÁST	6
1. ÚVOD	6
1.1 Elektrická a tepelná energie	6
1.2 Princip kogenerace	7
1.3 Výhody využívání kogenerace	8
1.3.1 Energetický přínos kogenerace	8
1.3.2 Úspora nákladů na nákup energie	11
1.3.3 Minimalizace nákladů na rozvod energie	11
1.3.4 Ekologický způsob výroby	11
1.3.5 Energie pro případ nouze	12
1.3.6 Výroba chladu	12
1.4 Nevýhody využívání kogenerace	12
1.4.1 Pořizovací náklady	12
1.4.2 Doba provozu	12
1.4.3 Současná výroba elektrické a tepelné energie	13
1.5 Přehled kogeneračních technologií a jejich parametry	13
1.6 Kogenerační systémy	14
2. DRUHY KOGENERAČNÍCH ZAŘÍZENÍ	15
2.1 Kogenerace s parní turbínou	15
2.2 Kogenerace s plynovou turbínou	16
2.3 Paroplynová zařízení	17
2.4 Kogenerace s pístovými spalovacími motory	18

2.5 Kogenerační zařízení se speciálními technologiemi	21
2.5.1 Primární jednotka v podobě palivového článku	21
2.5.2 Primární jednotka s expanzní plynovou turbínou	22
2.5.3 Primární jednotka se Stirlingovým motorem	23
2.5.4 Primární jednotka s tepelným čerpadlem	24
2.5.5 Primární jednotka s mikroturbínou	26
2.10 Porovnání primárních jednotek.....	28
3. OBLASTI VYUŽITÍ KOGENERAČNÍCH TECHNOLOGIÍ	32
3.1 Tepelné zdroje centralizovaného zásobování teplem.....	32
3.2 Kondenzační elektrárny s možností dodávky tepla	33
3.3 Budovy a objekty občanské vybavenosti.....	33
3.3.1 Rodinné domy a menší komplexy obytných budov	34
3.3.2 Hotely a penziony, vysokoškolské koleje	34
3.3.3 Nemocnice	34
3.3.4 Administrativní budovy a školy	35
3.3.5 Obchodní domy	35
3.3.6 Bazény, rekreační a sportovní střediska	35
3.4 Průmyslové objekty.....	36
3.4.1 Chemický a papírenský průmysl	36
3.4.2 Keramický a cementářský průmysl	37
3.4.3 Potravinářský průmysl	37
3.4.4 Strojírenský průmysl.....	37
3.5 Čistírny odpadních vod	37
3.6 Spalovny komunálního odpadu	38
3.7 Zemědělské a lesnické provozy	38

4. HLAVNÍ PRVKY KOGENERAČNÍ JEDNOTKY	39
4.1 Plynová trať	39
4.2 Plynový motor.....	39
4.3 Generátor elektrické energie.....	40
4.4 Výměníky tepla.....	41
4.4.1 Výměník primárního okruhu	41
4.4.2 Chladič oleje	42
4.4.3 Spalinový výměník.....	42
4.4.4 Chladič plnicí směsi (tzv. mezichladič)	42
4.5 Odvod spalin	43
4.6 Chlazení.....	43
4.7 Prostředky ke snížení hluku	44
B. PRAKTICKÁ ČÁST	45
1. DIMENZOVÁNÍ VÝKONU KOGENERAČNÍ JEDNOTKY	45
2.NÁVRH KOGENERAČNÍ JEDNOTKY	47
2.1 Vstupní informace	47
2.1.1 Elektrická energie	47
2.1.2 Tepelná energie.....	49
2.1.3 Klimatická data	52
2.2 Volba velikosti kogenerační jednotky	53
2.3 Optimalizace kogeneračního systému	54
2.3.1 Optimalizované varianty	55
2.3.2 Cento T180	55
2.3.3 Cento T200 v provozním režimu bez nočního útlumu	58
2.3. 4 Cento T200 v provozním režimu s nočním útlumem	61

2.4 Základní technické parametry jednotky Cento T200.....	64
2.4.1 Generátor	64
2.4.2 Motor	65
2.4.3 Tepelný systém.....	65
2.4.4 Palivo, přívod plynu	67
2.4.5 Spalovací a větrací vzduch	68
2.4.6 Odvod spalin a kondenzátu	68
2.4.7 Hlukové parametry	68
2.4.8 Elektrické parametry	69
2.4.9 Řídicí systém.....	69
2.4.10 Rozměry a hmotnost jednotky	69
3. EKONOMIKA INSTALACE A PROVOZU KOGENERAČNÍ JEDNOTKY ..	71
3.1 Ceny komodit.....	71
3.1.1 Elektrická energie	71
3.1.2 Tepelná energie.....	75
3.1.3 Zemní plyn.....	75
3.2 Náklady na pořízení kogenerační jednotky	76
3.2.1 Pořizovací cena.....	76
3.2.2 Ostatní technologie	76
3.2.3 Stavební úpravy.....	76
3.2.4 Projekční činnost	76
3.3 Provozní a ostatní náklady kogenerační jednotky	77
3.3.1 Údržba kogenerační jednotky.....	77
3.3.2 Údržba ostatní technologie	77
3.3.3 Údržba stavební části	77
3.3.4 Splátky úroků.....	77
3.3.5 Pojištění.....	78
3.3.6 Výrobní režie	78
3.3.7 Platby z výroby elektrické energie.....	78

3.4 Výše podpory za KVET a výkupní cena elektrické energie	79
3.4.1 Výše podpory za KVET	80
3.4.2 Výkupní cena elektrické energie	82
3.5 Dosavadní platby	82
3.6 Návratnost investice	83
3.6.1 Výpočet prosté návratnosti	84
3.6.2 Návratnosti zbývajících porovnávaných jednotek	86
4. ZÁVĚR	87
C. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	88
Seznam použité literatury	112
Seznam použitých zkratk	114
Seznam tabulek	114
Seznam obrázků	115
Seznam grafů	116
Seznam příloh	117

A. TEORETICKÁ ČÁST

1. ÚVOD

Kogenerace neboli kombinovaná výroba elektrické energie a tepla je v současné době pojem, o kterém hovoří ne jeden provozovatel elektrárenského zařízení. Jde totiž o technologii, spojující výrobu elektrické energie společně s energií tepelnou. Teplo, které je v kondenzačních elektrárnách bez užitku odevzdáno v chladicích věžích, se u kogeneračního procesu využívá. Uplatnění nachází převážně u ohřevů vody, jak topné tak i teplé ale také u technologických procesů nebo při výrobě páry. Tímto způsobem lze zefektivnit výrobu elektrické energie, šetřit primární zdroje a také životní prostředí. Z těchto důvodů je kogenerace součástí evropské směrnice o energetické účinnosti.

S dalším rozvojem a podporou kogenerace je počítáno také ve státní energetické koncepci. Aktuální ceny elektrické energie a paliv v České republice vyžadují ekonomickou podporu pro provozovatele kogeneračních zařízení. Ministerstvo průmyslu a obchodu, stejně jako Energetický regulační úřad pracují na stanovení konkrétních cílů v podílech na výrobě elektřiny a její následné podpoře (forma, výše, stabilita).

Do decentrálních zdrojů elektrické energie lze zařadit i malou a střední kogeneraci. Tyto zdroje nabízejí mnoho výhod jako např. plánovaný provoz a možnost volby provozního režimu. I přes tyto výhody se spíše setkáváme s negativními postoji k zapojování těchto zdrojů do distribučních soustav. [1]

1.1 Elektrická a tepelná energie

Elektrická a tepelná energie jsou různé druhy energií, které od sebe rozlišuje nejen odlišný způsob výroby a jeho finanční nákladnost ale také možnosti jejich uplatnění v každodenním životě člověka.

Výroba elektrické energie se provádí mnoha způsoby. Nejčastější způsob výroby elektrické energie je transformací tepelné energie uvolněné při spalovacím procesu v elektrárnách. Nejrozšířenější druh elektráren jsou uhelné parní, které tvoří základ naší

energetické soustavy. Dalšími druhy elektráren mohou být paroplynové, spalující zemní plyn, elektrárny jaderné, kde zdrojem tepla je jaderný reaktor, ve kterém se štěpí jádra uranu 235. Dalším druhem elektráren je soubor elektráren pracujících s tzv. obnovitelnými zdroji energie. To mohou být elektrárny vodní, větrné a také solární. Společným jevem těchto elektráren (vyjma těch, které pracují s obnovitelnými zdroji energie) je, že podstatná část tepelné energie je vypuštěna do atmosféry za doprovodu škodlivých látek ničících životní prostředí.

Tepelná energie již není tak kvalitní jako energie elektrická a to především z důvodu jejího omezeného použití a také technicky náročnější úpravou na kvalitnější druh energie. Na druhé straně musíme ocenit její poměrně jednoduchou a levnou výrobu v podobě teplotně nízkopotencionální horké nebo teplé vody. Tato vlastnost iniciuje investory a provozovatele elektrárenských zařízení k využívání odpadního tepla pro výrobu teplé vody, ať už pro potřeby vytápění nebo jako zdroj tepla pro výrobu teplé vody.

Jako měrnou jednotku lze pro elektrickou i tepelnou energii používat jeden Joul (J) nebo jeho násobky (kJ, MJ, GJ). Z historických a praktických důvodů se však pro vyjádření množství elektrické energie více používají vedlejší jednotky – kilowatthodina (kWh), megawatthodina (MWh). Převodní vztah mezi Jouly a Watthodinami je následující $3\,600\text{ J} = 1\text{ Wh}$.

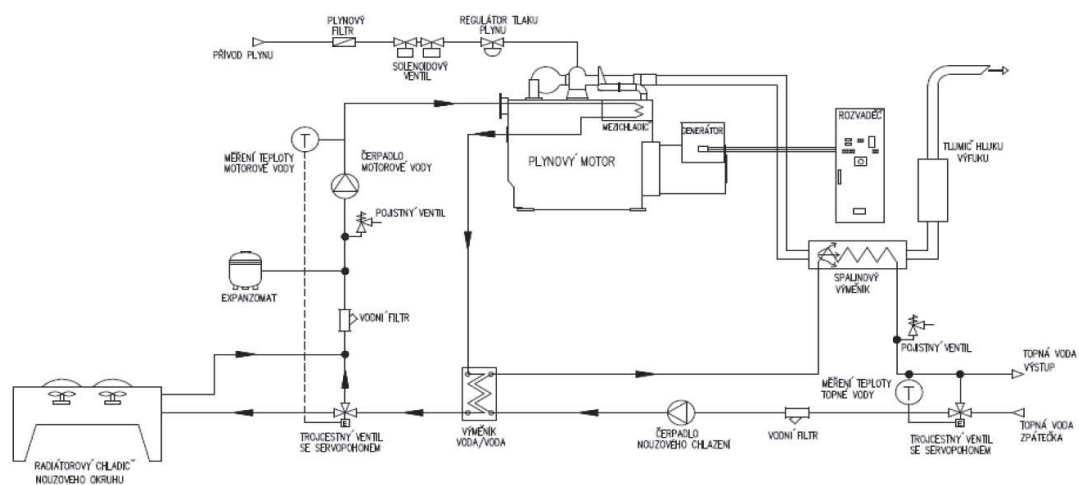
Výkon neboli tok energie za jednotku času lze vyjádřit stejnými jednotkami – kW, MW. Je vhodné tyto jednotky doplňovat výstižnými symboly, vyjadřujícími druh energie. Pro energii elektrickou se vžilo označení výkonu kWe a pro energii tepelnou označení kWt.

Symbolem vyjadřující elektrickou i tepelnou energii je písmeno Q, které může být doplněno vhodným indexem. Symbol označující elektrický výkon je obvykle P a tepelný výkon obvykle Q. Tohoto značení se budeme držet v celé diplomové práci. [2]

1.2 Princip kogenerace

Celá problematika kogenerace je založená na jednoduché myšlence sloučit výrobu elektrické a tepelné energie do jednoho procesu. Tento proces probíhá v tzv. kogeneračních jednotkách. Ty pracují tak, že pára vyrobená například v plynovém kotli

vstupuje do turbíny, kde otáčí jejími lopatkami. Tyto lopatky turbíny následně roztočí generátor, který vyrábí elektrickou energii. Po průchodu páry generátorem, kde předala část své energie neodchází do chladících věží, v nichž by zkondenzovala bez následného užitku na vodu, jak tomu bývá u většiny standardních elektráren, ale pokračuje do výměňkové stanice, kde předá zbytek své tepelné energie. Odtud teplo odchází ke spotřebiteli v síti centralizovaného zásobování teplem. Toto teplo lze využít pro vytápění nebo pro ohřev teplé vody. [4]



Obr. A 1 - 1: Blokové schéma kogenerační jednotky [5]

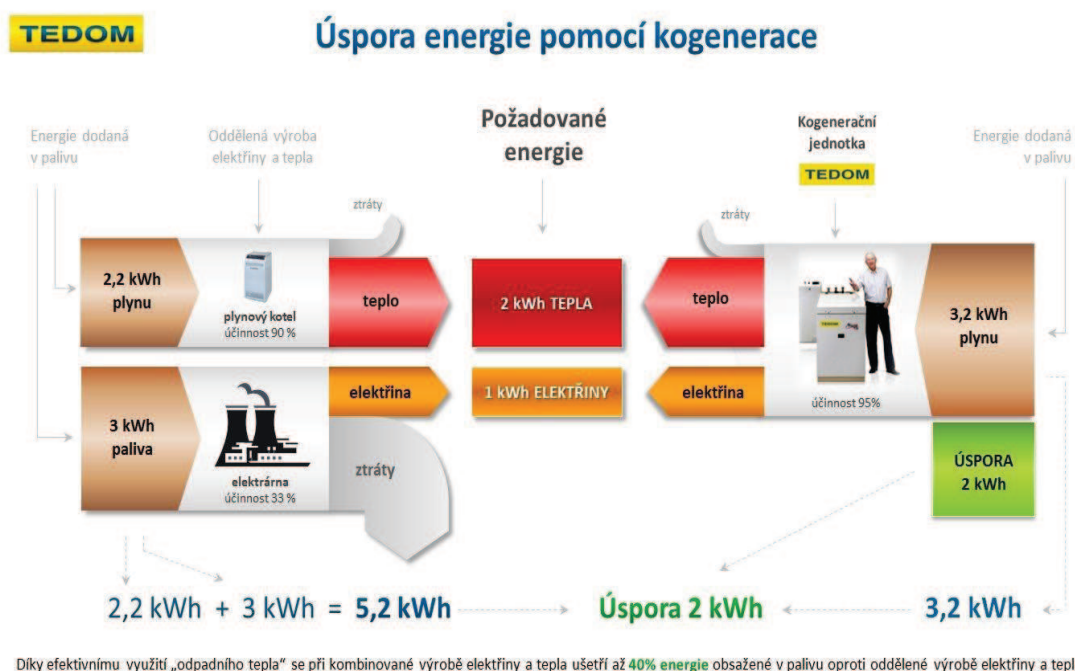
1.3 Výhody využívání kogenerace

1.3.1 Energetický přínos kogenerace

Energetický přínos kogenerace je založen na efektivním využívání primárních energetických zdrojů. Sloučením výroby elektrické energie a tepla lze zvýšit účinnost zdroje při výrobě těchto energií. Můžeme rovněž říci, že ekologické dopady takovéto výroby budou nižší oproti samostatné výrobě tepla a elektrické energie.

Hlavním energetickým přínosem kogenerace je efektivní využívání „odpadního“ tepla při výrobě elektrické energie. Toto teplo by za normálních okolností, bez použití kogenerační jednotky, muselo být vyrobeno dalším energetickým zdrojem (nejčastěji to bývá plynový kotel).

Úspora paliva je patrná na obrázku A 1-2, kde je znázorněno množství primární energie, které musíme dodat zdroji pro výrobu 2 kWh tepla a 1 kWh elektřiny. Z uvedeného obrázku lze také vyčíst obvyklé účinnosti jednotlivých zdrojů. Při oddělené výrobě elektřiny a tepla je obvyklá účinnost elektrického zdroje okolo 35%, a tepelného okolo 85%. Celková účinnost je tedy pouze kolem 60%. Při kombinované výrobě elektrické energie a tepla se celková účinnost pohybuje kolem 80–90%. Z obrázku je tedy patrné, že použitím technologie KVET lze ušetřit až 40% z energie paliva. [2]



Obr. A 1 - 2: Úspora energií pomocí kogenerace [6]

Matematické vyjádření energetického přínosu kogenerace

Energetický přínos kogenerace lze jednoduše vyjádřit pomocí matematických vztahů. Tyto vztahy jsou vyjádřeny ve stejných měrných jednotkách – např. – GJ [2]

- Množství energie potřebné pro výrobu elektřiny v kondenzační elektrárně:

$$Q_{el} = \frac{E}{\eta_{el}}$$

- Množství energie potřebné pro výrobu tepla ve výtopně:

$$Q_{výt} = \frac{Q}{\eta_{výt}}$$

- Množství energie potřebné pro výrobu tepla a elektřiny v kogenerační jednotce:

$$Q_{kj} = \frac{Q + E}{\eta_{kj}}$$

- Celková tepelná účinnost zdroje za předpokladu, že kogenerační jednotka má stejnou účinnost jako výtopna:

$$\eta_{tc} = \frac{Q + E}{Q_{pal}}$$

- Úspora tepla z paliva, při sdružené výrobě elektrické energie a tepla:

$$Q_u = \frac{E}{\eta_{el}} + \frac{Q}{\eta_{výt}} - \frac{Q + E}{\eta_{kj}}$$

za předpokladu, že účinnost výtopny je stejná jako kogenerační jednotky, lze teplo uspořené v palivu vztažené na jednotku tepla dodaného spotřebiteli vypočítat následovně:

$$\frac{Q_u}{Q} = \frac{E}{G} \cdot \left(\frac{1}{\eta_{el}} - \frac{1}{\eta_{kj}} \right)$$

V tomto vztahu se objevuje jeden z nejdůležitějších parametrů kogenerační jednotky, který je nazýván nejčastěji jako **teplárenský modul**. Ten vyjadřuje poměr mezi množstvím vyrobené elektřiny a tepla. Tyto vztahy jsou vyjádřeny ve stejných měrných jednotkách – např. – GJ

Pokud bychom nepředpokládali stejnou účinnost kogenerační jednotky a výtopny, existuje obecný vztah pro výpočet relativní úspory tepla:

$$\frac{Q_u}{Q} = \left(\frac{1}{\eta_{výt}} - \frac{1}{\eta_{kj}} \right) e \cdot \left(\frac{1}{\eta_{el}} - \frac{1}{\eta_{kj}} \right)$$

Kde:

Q_{el}	množství energie potřebné pro výrobu elektřiny v kondenzační elektrárně [GJ]
$Q_{výt}$	množství energie potřebné pro výrobu tepla ve výtopně [GJ]
Q_{kj}	množství energie potřebné pro výrobu elektřiny a tepla v kogen. jednotce [GJ]
Q_{pal}	množství energie v palivu [GJ]
Q_u	množství úspory tepla z paliva [GJ]
E	množství vyrobené elektrické energie [GJ]
Q	množství vyrobené tepelné energie [GJ]
η_{el}	účinnost kondenzační elektrárny [-]
$\eta_{výt}$	účinnost výtopny [-]
η_{kj}	účinnost kogenerační jednotky [-]
η_{tc}	celková tepelná účinnost obecného zdroje [-]
e	teplárenský modul [-]

1.3.2 Úspora nákladů na nákup energie

Provozovatel získá ze stejného množství dodaného paliva přibližně dvojnásobek energie. Pokud všechnu tuto energii nedokáže spotřebovat, může ji odprodávat a tím opět snižovat vlastní náklady.

1.3.3 Minimalizace nákladů na rozvod energie

Decentralizací zdroje tepelné i elektrické energie snížíme náklady na jejich zbudování a hlavně potlačíme ztráty vznikající v těchto dálkových rozvodech. Teplo vznikající provozem kogenerační jednotky lze využívat například pro vytápění budov, popř. pouze určitých místností, ohřevu teplé vody nebo k výrobě technologického tepla.

1.3.4 Ekologický způsob výroby

Množství vypouštěných škodlivých látek do ovzduší vznikající chodem spalovacího motoru, jsou přibližně o polovinu nižší, než v případě, kdybychom tyto energie vyráběli odděleně.

1.3.5 Energie pro případ nouze

Vhodným provozním zapojením kogenerační jednotky (tzv. ostrovní provoz) lze tuto jednotku využívat jako náhradní zdroj elektrické energie v místech její nepřetržité potřeby.

1.3.6 Výroba chladu

V případě vysokých přebytků tepla v letním období je vhodné uvažovat o osazení absorpčního výměníku. Ten dokáže přeměnit přebytečné teplo na chlad. Tento chlad lze využít například pro klimatizaci nebo pro technologické účely. Pokud kogenerační jednotku osadíme absorpčním výměníkem a vyrábíme zároveň elektrickou energii, teplo i chlad, hovoříme o tzv. trigeneraci. [6]

1.4 Nevýhody využívání kogenerace

1.4.1 Pořizovací náklady

Hlavní problém, který může investory a budoucí provozovatele odradit od pořízení kogenerační jednotky je vysoká pořizovací cena, která musí být většinou jednorázově uhrazena buďto z vlastních zdrojů nebo např. pomocí úvěru před uvedením jednotky do provozu.

1.4.2 Doba provozu

Jelikož kogenerační jednotka vyrábí zároveň s energií elektrickou také tepelnou, může se stávat, že v letních měsících jednotka buďto nejede nebo jede na nižší výkon a v nejhorším případě teplo z jednotky odchází nevyužito. Tyto jevy působí negativně na dobu provozu, která je stěžejním parametrem při výpočtu návratnosti investice. Aby byla jednotka co nejdříve splacena musí mít vysoký počet hodin, kdy bude v provozu. V opačném případě může být provoz jednotky ztrátový i s možností, že se tato investice nikdy nevrátí.

1.4.3 Současná výroba elektrické a tepelné energie

Díky vzájemné vazbě výroby elektrické energie a tepla není možno zcela libovolně a nezávisle měnit tento poměr vyrobené elektřiny a tepla. Jinak řečeno, změna odběru jedné formy energie vyvolá změnu výroby té druhé. Velikost tohoto poměru a jeho představitelnost závisí na typu a konkrétních parametrech kogenerační jednotky. [10]

1.5 Přehled kogeneračních technologií a jejich parametry

Kogenerační technologie lze rozdělit dle oblastí, které budou dodávat teplo následovně:

- kogenerační technologie vlastněné fyzickými osobami,
- závodní (průmyslové) tepelné centrály,
- veřejné tepelné centrály,
- ostatní.

Tab. A 1 - 1 Základní technické údaje kogeneračních technologií [7]

pohon	palivo	výkonový rozsah [kW]	elektrická účinnost [%]	celková účinnost [%]	forma tepla
Odběrová parní turbína	pevná, kapalná i plynná paliva	3-300	10 - 30	78 - 88	NT pára, horká voda
Protitlaká parní turbína		0,1-100	7 - 20	75 - 88	NT pára, horká voda
Parní motor		0,02 - 3	10 - 25	70 - 80	teplá voda
Organický cyklus - ORC		0,03 - 7	5 - 22	75 - 90	teplá a horká voda
Stirlingův motor		0,001 - 0,07	20 - 40	70 - 85	teplá voda
Spalovací turbína	zemní plyn, LTO, bioplyn	0,05 - 250	25 - 48	75 - 90	VT a NT pára, horká voda
Paroplynový cyklus		10-400	35 - 60	80 - 90	VT a NT pára, horká voda
Pístový spalovací motor		0,001 -10	25 - 45	75 - 92	NT pára, teplá a horká voda

1.6 Kogenerační systémy

Kogenerační systémy rozdělují kogenerační jednotky spolu s dopravou a spotřebou vyrobených energií do dvou základních skupin. Skupiny se od sebe liší pořadím využívání produkovaných energií, a to na:

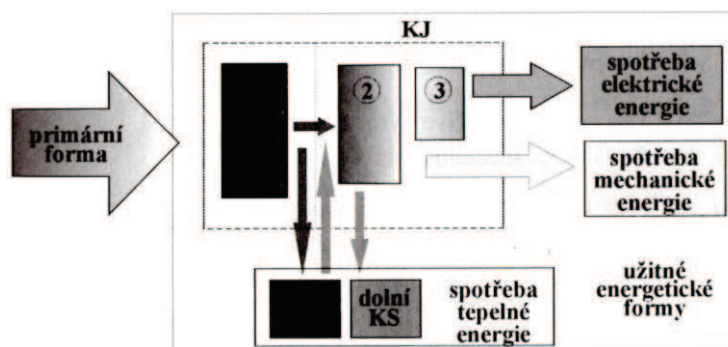
- horní kogenerační systémy,
- dolní kogenerační systémy.

Horní kogenerační systémy jsou charakteristické tím, že nejprve se vyrábí energie tepelná a následně energie elektrická. Typická aplikace je u technologických procesů, např. v ocelářských nebo sklářských pecích nebo také při výrobě cementu. V těchto případech se teplo primárně používá pro technologické účely a poté je následně přiváděno do energetického zařízení (tepelný motor), kde se transformací technické práce (mechanické energie) v elektrických generátorech vyrábí elektrická energie.

Odvedené teplo z tepelného oběhu lze buď dále využívat pro další tepelné účely, nebo ho můžeme považovat za ztrátu vzniklou při transformaci.

Dolní kogenerační systémy pracují na opačném principu. Prioritní u tohoto systému je výroba elektrické energie. Pro výrobu energie tepelné se využívá „odpadního“ tepla z tepelného oběhu.

Horní kogenerační systémy se používají daleko méně z důvodu vysoké vstupní teploty přiváděné do tepelného oběhu, která je potřebná pro efektivní zisk technické práce a následné výroby elektrické energie. [3]



Obr. A 1 - 3: Rozdělení kogeneračních systémů [3]

2. DRUHY KOGENERAČNÍCH ZAŘÍZENÍ

Na trhu se objevuje velké množství kogeneračních zařízení, které se liší svými parametry. Ty následně určují vhodnost nasazení kogenerační jednotky do dané aplikace. Jeden z nejdůležitějších parametrů kogenerační jednotky je způsob, jakým získávají energii pro pohon elektrického generátoru. Tato energie je vyvíjena v tzv. primární jednotce. Dle typu primární jednotky dělíme kogenerační zařízení takto:

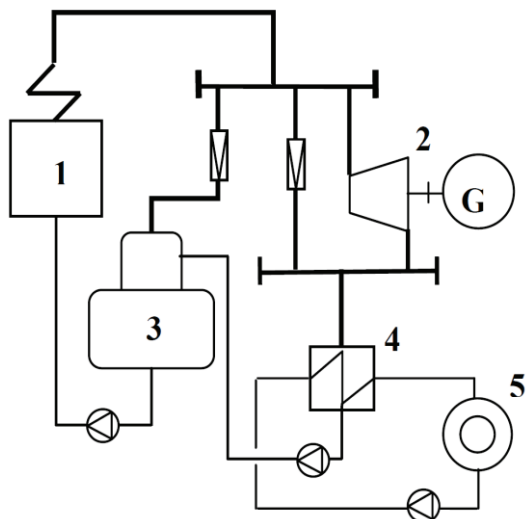
- s parní turbínou,
- s plynovou turbínou,
- s plynovou turbínou v paroplynovém provedení,
- s pístovým spalovacím motorem,
- speciální technologie.

2.1 Kogenerace s parní turbínou

Je nejčastěji využívanou technologií především v průmyslu a stává se tak klasickým teplárenským způsobem kogenerace. Zařízení pracuje tak, že parní kotol vyrábí přehřátou páru, která je využívána pro pohon protitlaké nebo odběrové turbíny. Turbíny poté zajišťují pohon elektrického generátoru (obr. 2-1, obr. 2-2). Na rozdíl od kondenzačních elektráren, které teplo maří v chladicích věžích, je zde expanze páry ukončena ve chvíli, kdy má ještě potenciál pro využití své teploty a tlaku k vytápění nebo pro účely technologických potřeb. Aby teplota páry vycházela alespoň na 110°C, je zapotřebí volit protitlak od hodnoty 0,15 MPa a výše. Teplárna s touto technologií vyrábí méně elektřiny, ale tento nedostatek je kompenzován vyšší celkovou účinností, do které je zahrnuto i vyrobené teplo.

Kogenerační zařízení s touto primární jednotkou je vhodné aplikovat nejčastěji v technologických procesech. Lze ho také využívat pro vytápění, nicméně zde se obvykle zařazuje výměník tepla (kondenzátor), který předává energii z páry do horkovodní rozvodné soustavy. Vzhledem k vysokým investičním nákladům, se nedoporučuje využívat tuto technologii pro malé zdroje s nízkými parametry páry.

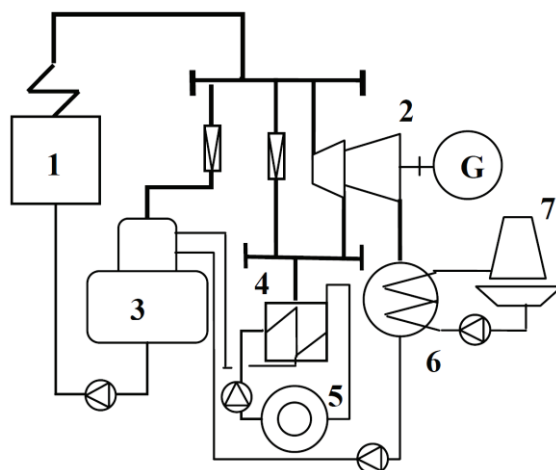
Nejlepších ekonomických výsledků dosahujeme u jednotek s velmi vysokými výkony, kde lze použít kotle pro spalování levného uhlí. [10]



Legenda:

- 1 - parní kotel
- 2 - parní turbína
- 3 - napájecí nádrž
- 4 - ohřívač topné vody
- 5 - spotřebič tepla

Obr. A 2 - 1: Schéma kogenerace s parní protitlakou turbínou [2]



Legenda:

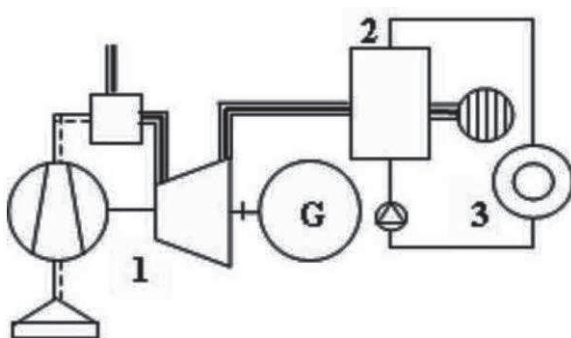
- 1 - parní kotel
- 2 - parní turbína
- 3 - napájecí nádrž
- 4 - ohřívač topné vody
- 5 - spotřebič tepla
- 6 - kondenzátor
- 7 - chladicí věž

Obr. A 2 - 2: Schéma kogenerace s parní kondenzační turbínou [2]

2.2 Kogenerace s plynovou turbínou

Palivem je zde nejčastěji zemní plyn, který je za vysokého tlaku spalován ve spalovací komoře. Spaliny vznikající hořením proudí vysokou rychlostí do plynové turbíny, kde

se jejich tlaková energie transformuje na energii mechanickou (Obr. 2-3). Tato energie se využívá jednak pro pohon turbokompresoru, který je nezbytný pro stlačování spalovacího vzduchu, ale také pro pohon elektrického generátoru. Jak turbokompresor, tak také elektrický generátor jsou umístěny na jedné hřídeli společně s parní turbínou. Spaliny expandující v turbíně se dají velmi vhodně využívat pro další použití. To je umožněno dostatečným tlakem i teplotou, která dosahuje mnohdy teploty nad 500°C. Využití lze nalézt například pro výrobu horké vody nebo páry pro vytápění, páru pro technologické účely nebo přehřátou páru pro pohon parní turbíny. Abychom mohli plynovou turbínu takto využívat, je zapotřebí za ni zapojit do okruhu také kotel na odpadní teplo. [10]



Legenda:

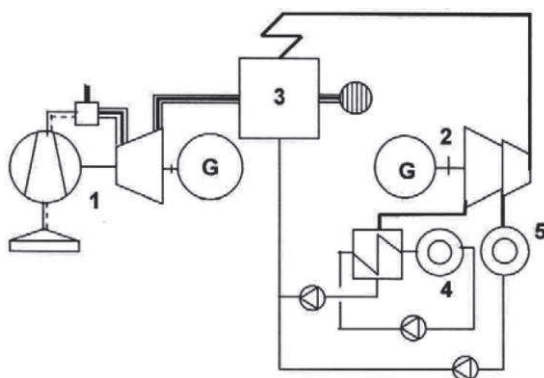
- 1 - spalovací turbína
- 2 - kotel na odpadní teplo
- 3 - spotřebič tepla

Obr. A 2 - 3: Schéma kogenerace se spalovací turbínou [2]

2.3 Paroplynová zařízení

Varianta, kdy pomocí plynové turbíny a kotle na odpadní teplo vyrábíme páru pro pohon parní turbíny se označuje jako paroplynové zařízení. Takovéto zařízení představuje jeden z nejefektivnějších způsobů výroby elektřiny s dosahovanou účinností přes 60%. Při zapojení teplárenské parní turbíny lze provozovat paroplynovou jednotku jako kogenerační s vyšší celkovou účinností.

Investiční náklady na vybudování a provoz paroplynové jednotky ji předurčují k použití ve větších tepelných centrálách s výkonem v desítkách MW. I přes tyto velké investiční náklady roste popularita tohoto zařízení nejen u nás ale také ve světě. [10]



Legenda:

- 1 - spalovací turbína
- 2 - parní turbína
- 3 - spalínový kotel
- 4 - spotřebič tepla (horké vody)
- 5 - spotřebič tepla (páry)

Obr. A 2 - 4: Schéma kogenerace se spalovací turbínou v paroplynovém provedení [2]

2.4 Kogenerace s pístovými spalovacími motory

Tento typ kogeneračního zařízení používá jako primární jednotku spalovací motor. Primární jednotka je tvořena pístovým motorem s vnitřním spalováním téměř shodným s klasickými spalovacími motory používanými např. u automobilové nebo trakční dopravy. Uplatňují se 2 typy motorů, které se dělí dle způsobu zapálení směsi vzduchu a paliva ve válci. Motory tedy dělíme na:

- vznětové motory
- zážehové motory

U vznětových motorů dochází k zapálení směsi samovznícením paliva při kontaktu s horkým vzduchem. Tento typ motoru disponuje účinností mezi 35 až 45%. Maximální výkon se pohybuje okolo 25 MW.

Zapálením směsi u zážehových motorů dochází přes elektrickou jiskru. Účinnost těchto motorů je jen o málo nižší než u vznětových a pohybuje se okolo 27 až 43%.

Aby mohl být použit spalovací motor v kogenerační jednotce, musí dojít k jeho úpravě na zemní plyn. Takto lze upravit jak motory vznětové, tak i zážehové. Úprava se nejčastěji týká palivového systému a spalovacího prostoru.

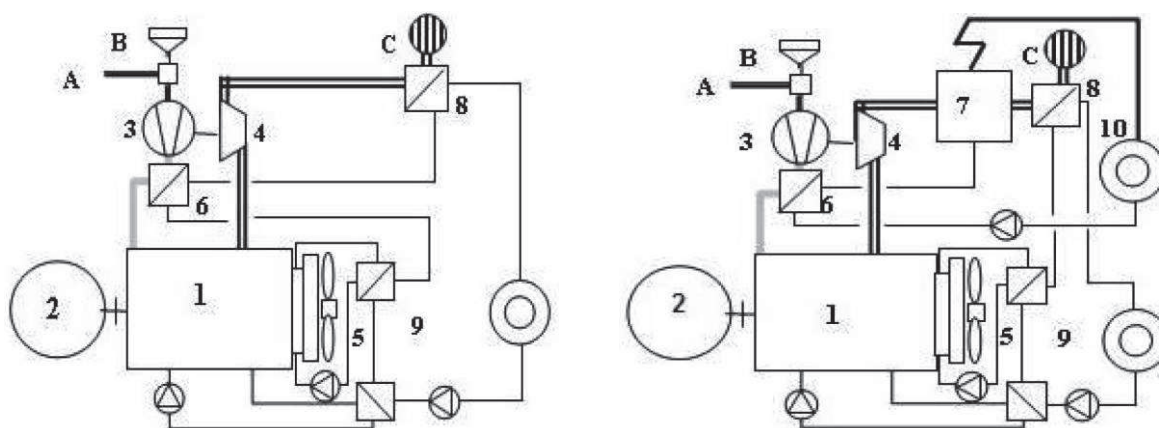
Nutným opatřením u spalovacích motorů je jejich umístění na podložku tlumící vzniklé vibrace. Také se musí vyřešit problematika celkem vysoké hlučnosti. Ta se nejčastěji řeší protihlukovým krytem. Další problematiku oblastí je mazání třecích ploch. Vzhledem vysoké obtížnosti dochází k rychlejšímu opotřebení a častějším odstávkám.

Jedním z nejvhodnějších způsobů využití spalovacího motoru je jeho nasazení v teplárenství, jelikož při pohonu elektrického generátoru, motor produkuje velké množství odpadního tepla. Toto teplo vzniká při chlazení motoru (bloky válců a hlavy motoru), dále při chlazení mazacího okruhu a v neposlední řadě se toto odpadní teplo vyskytuje i ve spalinách. Chlazení oleje je prováděno tzv. vodním chladicím okruhem, který olej chladí a tím pádem přebírá jeho tepelnou energii do sebe. Tato již topná voda může dosahovat teploty až kolem 80°C. Zapojíme-li do okruhu také speciální výměník pro odběr tepla z chlazení bloku motoru a hlav válců, je možné dosáhnout teploty topné vody 100 až 110°C. Takto vysokých teplot lze ovšem dosáhnout jen v případě, že je topný okruh proveden jako tlakový. Výhodnější řešení, vzhledem k tlakovým poměrům v primárním chladicím okruhu je spokojit se s teplotou okolo 90°C. Pokud je dán požadavek na výrobu tlakové vody o teplotě nad 100°C nebo na výrobu páry, je vhodné to provádět ve výměníku využívající teplo spalin, které dosahují teplot mezi 400 až 540°C.

Nejčastější způsoby využití tepla ze spalovacích motorů jsou následující:

- ohřev sekundární otopné vody při teplotním spádu 90/70°C,
- u moderních primárních tepelných sítí s nízkými teplotami otopné vody a kvantitativní regulací,
- ohřev primární vody na teploty 110 až 130°C,
- výroba páry o nižším tlaku,
- kombinace sušení výfukovými spalinami a přímý ohřev TV
- předehřev napájecí vody parních kotlů,
- chladicí zařízení,
- paroplynová zařízení
- a další...

Nejvýhodnějším využitím odpadního tepla motorů je první varianta, kdy odpadním teplem ohříváme sekundární okruh vody na vytápění s přívodní teplotou 90°C. Výroba páry se potýká s jistými technickými potížemi a vyplácí se většinou pouze v případech, kdy je dán požadavek na současnou dodávku tepla v páře i v teplé vodě. V takovémto případě je topná voda vyráběna z tepla bloků motorů, hlav válců nebo turbodmychadla a pára se vyrábí díky teplu výfukových plynů. Tlak páry musí respektovat požadavek na dostatečné vychlazení spalin a proto nemůže být příliš vysoký. Tento požadavek lze obejít vložením dalšího výměníku do spalinové cesty, který může spaliny vychlazovat a získaným teplem ohřívát například teplou vodu. Toto řešení se aplikuje pouze u zařízení s vyššími výkony. [2]



a) dodávka tepla ve formě teplé nebo horké vody

b) dodávka tepla ve formě horké vody a páry

Legenda:

- 1 - spalovací motor
- 2 - elektrický generátor
- 3 - kompresor turbodmychadla
- 4 - turbína turbodmychadla
- 5 - okruh chlazení oleje a bloku válců motoru s ohřívákou topné vody
- 6 - chladič stlačeného vzduchu

- 7 - parní kotel
- 8 - spalinový ohřívák topné vody
- 9 - okruh topné vody
- 10 - spotřebič páry
- A - přívod paliva
- B - přívod vzduchu
- C - odvod spalin

Obr. A 2 - 5: Schéma kogenerace se spalovacími motory [2]

2.5 Kogenerační zařízení se speciálními technologiemi

Do této kategorie spadají primární jednotky, u kterých probíhá v současné době výzkum a jejich rozšíření není u nás ani ve světě příliš aplikováno. Tato zařízení bývají osazeny primárními jednotkami v podobě:

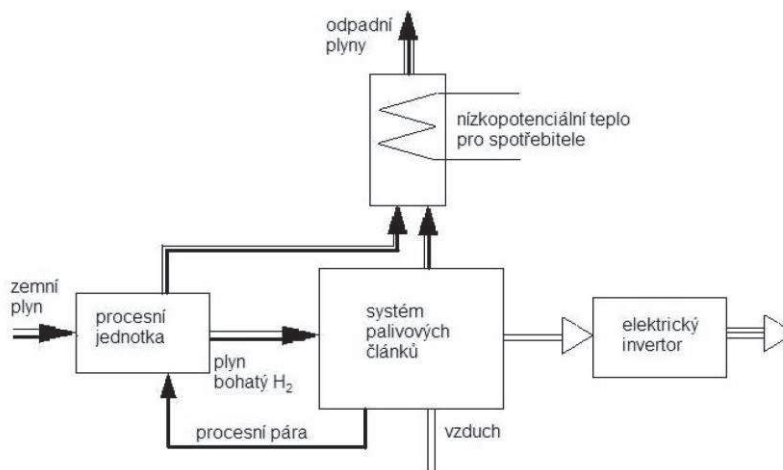
- palivového článku,
- expanzní plynové turbíny,
- Stirlingova motoru,
- tepelného čerpadla,
- mikroturbíny.

2.5.1 Primární jednotka v podobě palivového článku

Palivovým článkem rozumíme galvanický článek, který je schopen přímé přeměny energie obsažené v palivu na elektrickou energii. Zdrojem paliva je nejčastěji vodík, který ve spolupráci se vzdušným kyslíkem a elektrolytem může exotermním procesem vyrábět elektrickou energii přímo. Odpadním produktem palivových článků je voda popř. její pára. Proces probíhá tak, že na porézní anodě pokryté vrstvou katalyzátoru je štěpen vodík na protony a neutrony. Vzniklé protony procházejí elektrolytem ke katodě, která je rovněž pokrytá katalyzátorem a tam reagují s adsorbovanými kyslíkovými atomy za vzniku vodní páry. Elektrony protékají elektricky vodivou anodou a uzavřeným okruhem jako elektrický proud.

Palivové články lze rozdělit podle pracovní teploty a použitého elektrolytu do pěti skupin, ale pouze tři z nich jsou vhodné pro uplatnění v kogeneračních jednotkách. Jsou to:

- PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cells) – zde je jako elektrolyt využit roztok kyseliny fosforečné. Pracovní teplota cca 200°C, účinnost okolo 50%.
- MCFC (Molten Carbonate Fuel Cells) – elektrolyt je zde tvořen tavenými uhličitany. Pracovní teplota cca 600°C, účinnost okolo 60%.
- SOFC (Solid Oxide Fuel Cells) – pracují s pevným elektrolytem keramickým materiálem na bázi ZrO₂. Teplota 600 – 1 000°C, účinnost cca 60%. [2]



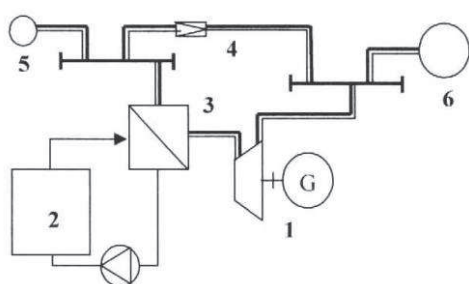
Obr. A 2 - 6: Schéma kogenerace s palivovými články [2]

2.5.2 Primární jednotka s expanzní plynovou turbínou

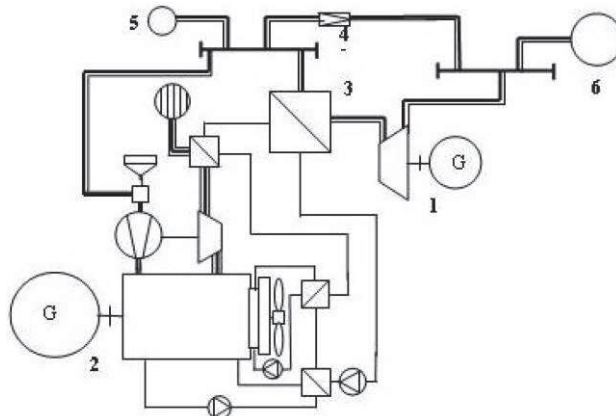
Jedná se o zařízení s minimálními ekologickými dopady na životní prostředí. V tomto zařízení je elektrická energie vyráběna tak, že zemní plyn odebíraný s dálkových vysokotlakých plynovodů expanduje v expanzní turbíně. Ta se osazuje v místech regulačních stanic, kde tlak plynu přechází na hodnoty středo až nízkotlakých rozvodů. Osazením expanzní turbíny zamezíme také energetickým ztrátám, které vznikají pokud se tlak plynu reguluje redukčními armaturami. Tlak v těchto dálkových rozvodech se pohybuje mezi 2 až 7 MPa a teplota je podobná teplotě okolí ale při expanzi dále dochází ke snižování teploty plynu. Snižování teploty je úměrné vstupnímu a výstupnímu tlaku a také nesmí klesnout pod bod mrazu z důvodu namrzání potrubí a tvorby plynových kondenzátů. Proto je nutno zemní plyn ohřát před vstupem do expanzní turbíny (tento ohřev probíhá i v případě použití redukčních ventilů) externím zdrojem tepla.

Ohřev plynu před expanzí je důležitou součástí celé technologie a může být proveden následujícími způsoby:

- horkou vodou připravenou mnohými způsoby (kotel, tepelné čerpadlo...),
- parou odebíranou z protitlaku nebo odběru turbíny,
- výfukovými spalinami,
- odpadním teplem spalovacího motoru. [2]



a) horkovodním kotlem



b) spalovacím motorem

Legenda:

- 1 - expanzní turbína s generátorem
- 2 - horkovodní kotel / spalovací motor s generátorem
- 3 - výměník plyn - voda

- 4 - redukční armatura
- 5 - VT plynovod
- 6 - NT plynovod

Obr. A 2 - 7: Schémata obvyklého ohřevu zemního plynu před expanzí [2]

2.5.3 Primární jednotka se Stirlingovým motorem

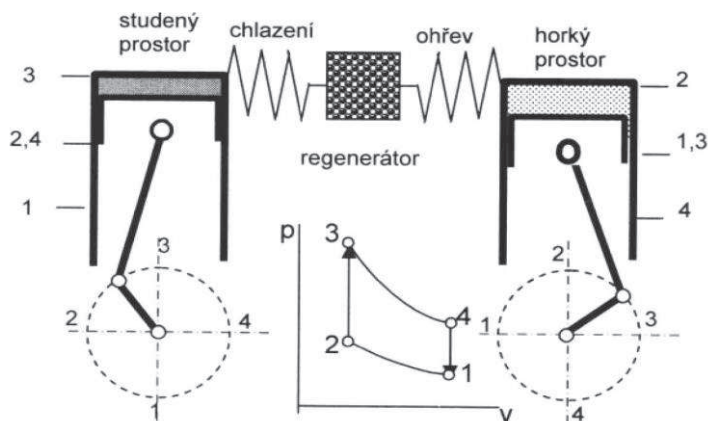
Téměř zapomenutý typ motoru našel své největší uplatnění u stacionárních zdrojů, kterými mohou být také kogenerační jednotky.

Motor má 2 komory – chladnou a teplou, které jsou tvořeny dvěma válci, mezi kterými probíhá výměna pracovní látky. Hřídele jsou pootočené vůči sobě o 90° a otáčejí se synchronně. Jednotlivé polohy (1,2,3,4) a pracovní cyklus motoru je znázorněn na obr. 2.8. Cyklus začíná v poloze 1, kdy je levý píst v dolní poloze a zároveň objem levého válce je zcela zaplněn chladnou pracovní látkou. Pravý píst se nachází v polovině zdvihu a objem látky vyplňující válec je více než z poloviny vyplněn horkou pracovní látkou. Tento stav odpovídá bodu 1 v p-V diagramu, kdy pracovní látka vyplňuje přes 3/4 objemu válců a je spíše chladná. Aby se pracovní látka dostala do polohy 2, je zapotřebí, aby pravý píst přetlačil pracovní látku přes regenerátor a chladič, v němž se

předá teplo levému válci. Při tom dochází ke kompresi a v bodě 2 objem pracovní látky tvoří pouze 1/2 objemu levého válce. Při změně mezi body 2 a 3 je pracovní látka přemísťována zpět do pravé komory za konstantního objemu a navíc je ohřívákem ohřívána na vyšší teplotu. Při změně polohy z 3 do 4 probíhá expanze, objem pracovní látky se zvětšuje, médium proudí do pravého válce přes ohřívák, který opět zvyšuje jeho teplotu. Tento děj ukončuje celý proces v poloze 4 a médium opět zaujímá 3/4 objemu obou válců a pracovní látka je přetlačena do levého válce při otáčení hřídelů mezi polohami 4 a 1. V průběhu celého cyklu se pracovní látce větší množství tepla dodá v ohříváku a menší množství se odvádí pomocí chladiče a výsledný rozdíl je odveden z motoru formou práce. Popsané děje jsou ideální, skutečné děje se mohou lišit. Jako pracovní látka se nejčastěji používá helium nebo vodík.

Existuje mnoho typových řad Stirlingova motoru ale většina dosahuje parametru tlaku okolo 15 až 20 MPa, teploty 630 až 730°C a elektrická účinnost u motoru s jednotkovým výkonem mezi 8 až 25 kW se pohybuje v rozmezí 30 až 33%.

Teplo pro topné účely se z jednotky odebírá přes chladič spalin z motoru. [2]



Obr. A 2 - 8: Princíp práce Stirlingova motoru [2]

2.5.4 Primární jednotka s tepelným čerpadlem

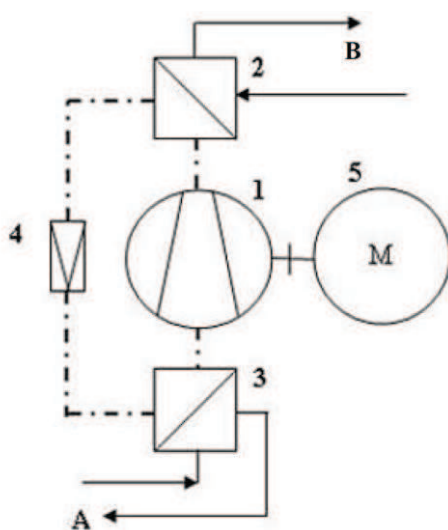
Skutečnost přechodu tepelných zdrojů z tuhých paliv na paliva plynná dává kogeneračním jednotkám velkou možnost uplatnění na trhu. Tato možnost je také dána vysokou ekologičností a poměrně dobrými ekonomickými ukazateli. Tyto ekonomické

ukazatele lze ještě zvýšit zařazením tepelného čerpadla. Jednou z podmínek ovšem je, že musí být k dispozici vhodný zdroj nízkopotencionálního tepla.

Tepelné čerpadlo je zařízení, kterému když dodáme určitou doplňkovou energii, je schopno zvyšovat látkám tepelnou energii. Jako doplňková energie je zde myšlena práce kompresoru na elektrický nebo motorový pohon.

Princip tepelného čerpadla je znázorněn na obr.2.9. Teplo je přiváděno do výparníku, v němž se pracovní látka odpaří. Syté páry pracovní látky jsou stlačeny kompresorem a následně vedeny do kondenzátoru. V kondenzátoru předá pracovní látka svou tepelnou energii do teplovodního okruhu a tím zkondenzuje. Aby se tlak pracovní látky shodoval s tlakem ve výparníku, musí pracovní látka projít přes škrticí ventil. Touto redukcí dojde k částečnému odpaření a pracovní látka vstupuje do výparníku ve stavu mokré páry a oběh se opakuje.

Zdrojem tepla pro tepelné čerpadlo může být energie z vody, země nebo ze vzduchu.



Legenda:

- 1 - kompresor
- 2 - kondenzátor
- 3 - výparník
- 4 - škrticí ventil
- 5 - pohonná jednotka (motor)
- A - zdrojová voda
- B - topná voda

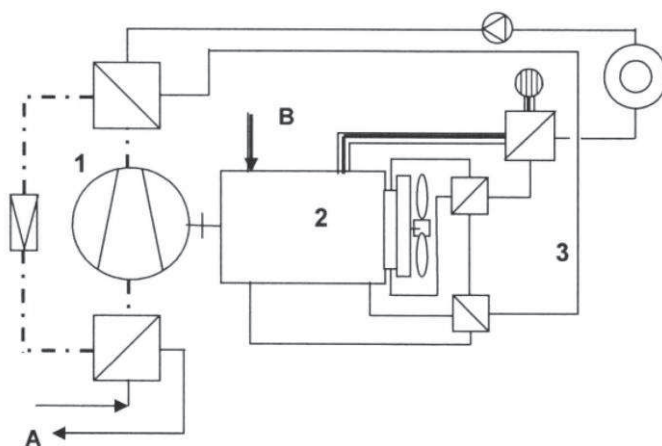
Obr. A 2 - 9: Zjednodušené schéma principu tepelného čerpadla [2]

Pokud bychom chtěli zapojit tepelné čerpadlo do technologie pro CZT, narazíme na určité komplikace. Je zde například požadavek, že teplota pracovní látky ve výparníku musí být menší než je teplota zdrojové vody a naopak teplota v kondenzátoru musí být větší než teplota ohříváné vody v CZT. Pokud budeme sledovat parametr topného faktoru, je pro jeho dostatečnou velikost dána podmínka, že rozdíl pracovních teplot

látky ve výparníku a v kondenzátoru musí být co nejmenší. Toho lze například dosáhnout, pokud teplota zdrojového média bude co nejvyšší (např. geotermální voda, plyn a další odpadní produkty z ČOV) a zároveň požadavek na teplotu otopné vody co nejnižší. Kvůli těmto omezením nachází tepelné čerpadlo uplatnění především v těchto aplikacích:

- ohřev topné vody v nízkooteplotních sekundárních sítích,
- předehřev topné vody v systémech s teplotami výstupní vody 70 až 110°C,
- ohřev nebo předehřev teplé vody.

Ohřev topné vody může být zajištěn odpadním teplem ze spalovacího motoru. Při stejné teplotě topné vody z celého agregátu může být pro zvýšení topného faktoru a celého topného výkonu snížena teplota vody za kondenzátorem TČ oproti předchozímu případu. Schéma zapojení TČ na nízkooteplotní otopný systém je uveden na obr.2.10. Zdrojová voda se ochlazuje průchodem přes výparník na teplotu 10 až 15°C. Topná voda se v kondenzátoru ohřívá z teploty 40 až 45°C na teplotu 60 až 65°C. Další zvýšení je možno provést ve výměníku využívající teplo z motoru. [2]



Legenda:

- 1 - tepelné čerpadlo
- 2 - spalovací motor s výměníkem pro využití odpadního tepla
- 3 - okruh topné vody
- A - zdrojová voda
- B - palivo

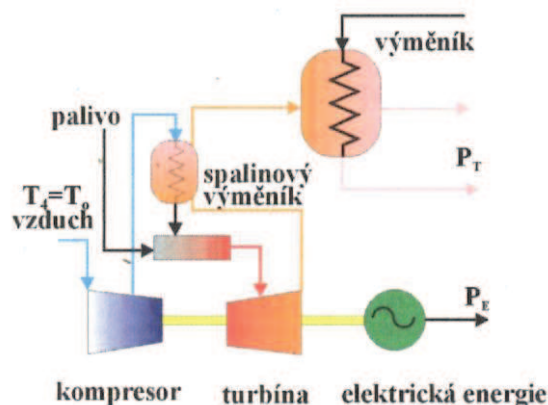
Obr. A 2 - 10: TČ s plynovým motorem využívané pro ohřev topné vody [2]

2.5.5 Primární jednotka s mikroturbínou

Mikroturbíny jsou plynové turbíny malého výkonu ale s vysokými otáčkami, které přišly na trh po dlouhých výzkumných materiálových pracích. Turbína s generátorem

a kompresor mohou být umístěny buď společně na jedné hřídeli, nebo každý samostatně. Pokud tyto prvky osadíme na jednu hřídel, je nutno použít vysokofrekvenční generátor s následnou úpravou parametrů elektrické energie, protože mikroturbína pracuje s otáčkami kolem 100 000 ot./min. Pokud osadíme každý prvek samostatně dostáváme dvouhřídelové provedení, které ovšem obsahuje více rotačních částí. Na hřídelích v obou případech mohou být osazena olejová nebo vzduchová ložiska. U vzduchových ložisek odpadá olejové hospodářství turbíny. Jsou osazeny radiálním kompresorem a tím, že pracovní látka proudí v radiálním směru, dochází k úspoře místa, menším tepelným ztrátám a vyšší účinnosti. Celková účinnost se pohybuje mezi 65 až 85% ale při osazení spalínovým výměníkem klesá elektrická účinnost o cca 10 až 15%. Použitím spalínového výměníku pro předehřev spalovacího vzduchu (rekuperátor) se výrazně zvyšuje účinnost ale také snižuje teplota využitelná při dodávce tepla. Toto teplo může být využito například na:

- ohřev teplé vody,
- ohřev topné vody,
- absorpční chlazení,
- úpravu vzduchu,
- technologické potřeby. [3]



Obr. A 2 - 11: Schéma kogenerační jednotky s mikroturbínou [3]

2.10 Porovnání primárních jednotek

V této kapitole bud provedeno shrnutí a porovnání primárních jednotek. Uvedené údaje hrají klíčovou roli při volbě primární jednotky i volbě celé kogenerační technologie.

Tab. A 2 - 1 Kogenerační jednotka s parní turbínou [3]

Parní turbíny	
Výhody	Nevýhody
vysoká celková účinnost	nízký teplotní modul
libovolný zdroj paliva	vysoké náklady
velký výkonový rozsah	pomalý start
schopnost pokrýt požadavky tepelné spotřeby při různých teplotách	
flexibilní teplotní modul během provozu	
dlouhá životnost	
Možnosti uplatnění	
elektrické zatížení nad 250 kW _E	
požadavek na páru o vysokých parametrech pro technologické účely	
existuje zdroj levného paliva i méně výhřevného	
u zdroje vysokopotencionálního tepla (spalovny odpadů, pece ...)	

Tab. A 2 - 2 Kogenerační jednotka s plynovou turbínou [3]

Plynové turbíny	
Výhody	Nevýhody
vysoká spolehlivost, která dovoluje nepřerušovaný chod	malý počet vyráběných výkonů ve výkonovém rozsahu
dodávka vysokopotencionálního tepla	nižší mechanická účinnost
rychlost otáček blízka požadované frekvenci	spalování plynu při vysokém tlaku
řízení elektrického výkonu	vysoká hlučnost
vhodný energetický poměr	malá účinnost při nízkém zatížení
není nutná chladící voda	čisté a suché palivo
variabilita paliv i jejich kombinace	s růstem teploty klesá výkon
nízké emise	dlouhá doba nájezdu (0,5 - 2 hodiny)
Možnosti uplatnění	
elektrické zatížení nad 1 MW _E	
velká potřeba stredo/vysokotlaké páry nebo vody o teplotě nad 140°C	
požadavek na horké plyny s teplotou nad 450°C	

Tab. A 2 - 3 Kogenerační jednotka s paroplynovým zařízením [3]

Paroplynové zařízení	
Výhody (ve srovnání s parní turbínou)	Nevýhody
zvýšená výroba elektrické energie	požadavek na kvalitní palivo
vyšší provozní pružnost	vysoká investiční cena
menší zastavěná plocha	hlučnost
nižší celkové investiční výdaje	
snadnější optimalizace provozních režimů	
Možnosti uplatnění	
široká škála uplatnění dána variabilitou konstrukčního provedení	
požadovaným výstupem může být teplá i horká voda, pára o různých tlacích	
plynové teplárny, elektrárny s vysokými výkony	

Tab. A 2 - 4 Primární jednotka se spalovacím motorem [3]

Spalovací motory	
Výhody	Nevýhody
vysoká účinnost	musí být chlazeny i když se nevyužívá teplo
relativně nízké investiční náklady	hlučnost
široký výkonový rozsah	náklady na údržbu
možnost ostrovního režimu	
dobré sledování zátěže	
rychlý start	
použití více paliv	
opravy lze provádět na místě	
Možnosti uplatnění	
potřeba energie je cyklická ale nepřetržitá	
požadavek na vodu o nízkých a středních parametrech nebo páru o nízkých parametrech	
elektrické zatížení nad 1 MW _E	

Tab. A 2 - 5 Kogenerační jednotka s palivovým článkem [3]

Palivové články	
Výhody	Nevýhody
nízké emise i hluk	náklady
vysoká účinnost i flexibilita	doba životnosti
krátká doba výstavby	dlouhá startovací doba
variabilní energetický poměr	korozivní účinky při použití tekutých elektrolytů
Možnosti uplatnění	
požadavek na vysokou kvalitu zabezpečení energie	
výstup nízko i vysokopotencionálního tepla v závislosti na použitém článku	

Tab. A 2 - 6 Kogenerační jednotka s expanzní plynovou turbínou [3]

Expanzní plynová turbína	
Výhody	Nevýhody
minimální energetické nároky	potřeba vysokotlakého rozvodu plynu
ekologický zdroj	nutnost dodané energie na ohřev plynu
variabilita použitého plynu	
snadná regulace výkonu	
Možnosti uplatnění	
v regulačních stanicích plynu	

Tab. A 2 - 7 Kogenerační jednotka se Stirlingovým motorem [3]

Stirlingův motor	
Výhody (oproti mikrokogeneraci)	Nevýhody
není potřeba dodatečný zdroj tepla	menší zkušenosti u nižších výkonů
nezávislá výroba elektřiny na teple	nízká mechanická účinnost u výkonů 3,5-8,5 kW
nízké emise	vysoké investiční náklady
jednoduché řízení	hmotnost
modulové řešení	použití speciálních materiálů - cena
Možnosti uplatnění	
při požadavcích na nízký hluk	
při využití odpadového hospodářství (spalovny odpadu, ČOV...)	
mikrokogenerační jednotky	

Tab. A 2 - 8 Kogenerační jednotka s tepelným čerpadlem [3]

Tepelné čerpadlo	
Výhody	Nevýhody
ekologický zdroj	složitě určení topného faktoru
možnost výroby chladu	teplotní limity v pracovních látkách
nízká hlučnost	malý výběr TČ s plynovým spalovacím motorem
Možnosti uplatnění	
při požadavcích na nízký hluk	
pro využití nízkopotencionálního tepla	
výroba teplé nebo topné vody, chladu	

Tab. A 2 - 9 Kogenerační jednotka s mikroturbínou [3]

Mikroturbíny	
Výhody	Nevýhody
vysoká spolehlivost	náklady
malý počet rotujících částí	
jednoduchá instalace	
nízké náklady na údržbu	
malá hmotnost i hluk	
vysoká teplota spalin pro další využití	
Možnosti uplatnění	
odběr tepelné energie při proměnlivém výkonu	
možnost dodávky elektrické energie do sítě	
pro dodávku teplé vody, topné vody, chladu, technologického tepla	

3. OBLASTI VYUŽITÍ KOGENERAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Kogenerační technologie lze v současné době využívat pro velmi široký okruh jak fyzických, tak i právnických subjektů. Mezi fyzickými osobami se nejčastěji jedná o vlastníky větších rodinných domů, kteří kogenerací ušetří náklady za teplo a elektřinu. U právnických subjektů je oblast využití mnohem širší. Je to dáno výkonovým rozsahem kogenerační jednotky, který dokáže pokrýt potřeby elektřiny a tepla malé administrativní budovy nebo hotelu, ale zároveň najde své uplatnění i u teplárny nebo elektrárny o výkonu několika MW.

3.1 Tepelné zdroje centralizovaného zásobování teplem

Centralizované zásobování teplem je pojem, kterým označujeme dodávku tepla pro vytápění a ohřev teplé vody, které probíhá v centralizované výtopně a ke konečným spotřebitelům je dodáváno dálkovými rozvody. Výkonový rozsah se pohybuje dle městské aglomerace, do které je teplo dodáváno. U menších sídlišť dosahuje několika MW a u velkých městských aglomerací se může pohybovat i řádu desítek MW. Vytápění probíhá okolo 250 dnů, kdy trvá otopná sezóna. Kvůli špičkovému charakteru odběru tepla je doba maximálního tepelného výkonu jednotky okolo 2 000 hodin. Kogenerační zařízení se ovšem musí kvůli návratnosti navrhovat na nižší výkon a zbývající výkon je pokryt špičkovými kotli. Přijatelný výkon je okolo 30 – 40% maxima, kdy jednotka může být v provozu přibližně 3 500 až 4 000 hodin. Příprava teplé vody vyžaduje tepelný výkon 15 – 30% maximální potřeby a doba využití může přesahovat 6 000 hodin. Pro takovéto požadavky musí být kogenerační jednotka osazena s odpovídajícím výkonem a taky dostatečně vydatným zdrojem, nejčastěji zemním plynem.

V ČR je v provozu velké množství centralizovaných zdrojů ať už ve formě tepláren nebo výtopen. Společným znakem těchto zdrojů je jejich palivo. Tím je obvykle hnědé nebo černé uhlí ale v poslední době přibývá zdrojů na zemní plyn. V teplárnách obvykle nacházejí uplatnění kogenerační jednotky s parní protitlakou i odběrovou kondenzační turbínou. Osazení kogeneračního zdroje do výtopny je vhodné pouze v případě, že palivem je zemní plyn nebo biomasa. V takovémto případě se nejčastěji setkáme

s kogenerační jednotkou se spalovacím motorem nebo turbínou. U největších soustav pak i s paroplynovým zařízením. Pro samostatný ohřev TV se většinou využívají menší spalovací motory.

Po úpadku budování velkých sídlišť poklesla také poptávka po zdrojích centralizované dodávky tepla. Kogenerace má v tomto směru šanci k uplatnění pouze při rekonstrukci tohoto zařízení. Jako palivo se pro nové kogenerační zařízení využívá nejčastěji zemní plyn nebo biomasa. [2]

3.2 Kondenzační elektrárny s možností dodávky tepla

Pokud se v blízkosti kondenzační elektrárny nachází objekt s vysokou potřebou tepla, jsou tímto vytvořeny ideální podmínky pro využití kogenerace. Už v dnešní době byla většina stávajících elektráren upravena tímto způsobem. Takto modifikovaná elektrárna dosahuje díky vysokým parametrům páry poměrně vysokého teplotenského modulu výroby elektrické energie. Obvyklý tepelný výkon se pohybuje okolo 3 000 MW. Z hlediska financování nejsou náročné přestavby elektráren na nový zdroj ale především budování dálkových rozvodů tepla, které bývají nejčastějším omezujícím faktorem. [2]

3.3 Budovy a objekty občanské vybavenosti

Tyto objekty byly často přehlíženy z důvodu malých požadavků na výkon zdroje. V posledních letech se s nástupem kogeneračních jednotek se spalovacím motorem daří uspokojit i tuto skupinu objektů. Tato zařízení jsou souhrnně označována jako *mikrokogenerační jednotky*. Výkonový rozsah těchto jednotek je od 1 do 10 kW elektrické energie a tepelný výkon se pohybuje v rozmezí 5 až 30 kW. Pokud nehovoříme přímo o mikrokogeneračních jednotkách jsou výkony těchto jednotek přibližně o řád vyšší. Nejčastější uplatnění těchto jednotek je uvedeno v následujících odstavcích. [2]

3.3.1 Rodinné domy a menší komplexy obytných budov

Jedná se o objekty, které teplo využívají pro vytápění a ohřev teplé vody. Roční doba využití maximální potřeby tepla (vytápění) je poměrně malá a ještě menší je podíl potřeby elektrické a tepelné energie. V tomto případě o vhodnosti nasazení kogenerační jednotky nejvíce rozhoduje distributor elektrické energie, který stanoví výkupní cenu a tím i celkovou dobu návratnosti investice. Nejčastěji jsou jednotky osazeny spalovacími motory, ale začínají se na trhu objevovat i jednotky se Stirlingovým motorem nebo plynovou mikroturbínou. Ačkoliv těchto aplikací zatím není mnoho, do budoucna se předpokládá růst těchto zdrojů energie. [2]

3.3.2 Hotely a penziony, vysokoškolské koleje

Při dostatečné kapacitě lůžek (cca 50) jsou hotely a penziony dalším vhodným místem instalace. Tyto objekty mají dostatečně velkou potřebu teplé vody, v případě klimatizace i vody chladící (zde se osazuje trigenerační jednotka), a to v průběhu celého roku. I potřeba elektřiny je dostatečně vysoká a rovnoměrně rozložena do celého dne. Místem spotřeby těchto energií bývají často sauny, bazény, prádelny atd. Jednotky zde nasazené mívají elektrický výkon v rozsahu 15 až 100 kW a obvykle bývají osazeny spalovacím motorem. Zpravidla není nutno počítat se zálohováním elektrické energie.

Vysokoškolské koleje mívají také vysoké požadavky na dodávku tepla a elektrické energie, ale ta je využívána pouze v době školního roku. V období prázdnin poptávka po těchto energiích výrazně klesá. [2]

3.3.3 Nemocnice

Osazením kogenerační jednotky lze v nemocnici nahradit velké množství zařízení pro výrobu tepla a teplé vody a také elektrické energie a v případě osazení trigenerační jednotky také zdroj chladu. Jednotku lze nastavit i na ostrovní provoz, takže v případě výpadku elektrické energie nahradí agregát pro výrobu elektřiny. Jednotku v nemocnicích lze provozovat po dlouhou dobu na hodnotě jmenovitého výkonu, protože potřeba energií je o víkendech a státních svátcích jen o něco málo nižší než ve

všední dny. Kvalifikaci pracovníků pro údržbu a provoz stávajících zařízení lze jednoduše využít i pro provoz kogeneračních jednotek. [2]

3.3.4 Administrativní budovy a školy

Tato oblast je méně vhodná k nasazení kogenerační technologie z důvodu velkých přebytků tepla v letních měsících. Tato skutečnost jde opět vyřešit osazením absorpčního chlazení, které bude v létě klimatizovat budovy. Dalším negativem je omezení provozní doby přes víkendy a u škol také v období školních prázdnin. Limitujícím faktorem u těchto budov bývá potřeba elektrické energie. Při rozhodování o vhodnosti osazení jednotky hraje důležitou roli důkladně zpracovaná finanční rozvaha. I přes doposud malý počet osazených jednotek v těchto budovách lze předpokládat jejich postupné rozšiřování hlavně ve spojení spalovacího motoru s absorpčním chlazením. [2]

3.3.5 Obchodní domy

Tyto objekty jsou naopak velmi vhodné pro osazení kogenerační (trigenerační) technologií. Je to především z důvodu značné potřeby tepla pro vytápění a klimatizaci a také velké spotřebě elektrické energie používané pro osvětlení, pohon ventilátorů, eskalátorů, provoz počítačů atd. [2]

3.3.6 Bazény, rekreační a sportovní střediska

Další vhodná oblast pro uplatnění kogenerace. Opět zde můžeme počítat s velkými požadavky na teplo, které se využívá pro vytápění objektu, bazénové vody, vody ve sprchách. I požadavky na elektrickou energii jsou celkem vysoké. Zde se nejvíce uplatní v osvětlení, pohonu čerpadel vody v bazénech, ale třeba také v saunách. Požadavky na energii jsou v průběhu roku vysoké a relativně neměnné. Pro návrh jednotky osazené na bazéně je rozhodující spotřeba elektřiny za 14 až 16 hodin denního provozu bazénu. [2]

3.4 Průmyslové objekty

O vhodnosti nasazení kogenerační technologie v průmyslovém podniku rozhoduje především oblast působení tohoto podniku. Nejčastějším zdrojem tepla v průmyslových podnicích byly nejčastěji výtopy nebo teplárny, které jako palivo používaly převážně uhlí. V současné době většina tepláren přechází na plynná paliva. Závodní teplárny jsou vybaveny nejčastěji protitlakými nebo kondenzačními turbínami s regulovaným odběrem páry ale přibývá tepláren se spalovacími motory nebo se spalovacími turbínami a to i v paroplynovém provedení.

Nejvhodnějším typem objektu je závod s vícesměnným provozem, kde je zároveň velká poptávka po technologickém teple. Takovéto jednotky se dimenzují tak, aby v maximální možné míře byla elektrická energie spotřebována v podniku a zároveň i vyrobené teplo našlo dostatečné uplatnění. Jednotky se spalovacími motory lze uplatnit paralelním zapojením ke stávajícím plynovým kotelům, nebo sériově jako první stupeň ohřevu teple, topné nebo technologické vody. Pokud je možné jednotku provozovat po dobu otopného období, je vhodné volit jednotky vyšších výkonů. V opačném případě je nutno uvážit celoroční potřebu teplé vody a provoz v otopném období. [2]

3.4.1 Chemický a papírenský průmysl

Chemický průmysl lze považovat za vhodný pro osazení kogenerační jednotky, především se spalovacími motory. Je to dáno vysokou potřebou technologického tepla ve formě páry. Potřeba tepla bývá vysoká a zároveň rovnoměrně rozložená do celého dne i roku a je bez větších výkyvů. Výkyvy se mohou objevovat o víkendech a svátcích a v některých částech dne. Poměr potřeby elektrické energie k energii tepelné je střední až velký a také rovnoměrně rozložený do celého dne. [2]

U papírenského průmyslu se setkáme s podobnými požadavky, jako u chemického průmyslu. Největší kotelny těchto podniků často disponují několika protitlakými parními turbínami. Z tohoto důvodu lze s výhodou využít jednotku se spalovací turbínou v paroplynovém provedení. [2]

3.4.2 Keramický a cementářský průmysl

Specifika tohoto průmyslu dovolují využívat teplo přímo ve formě spalin, což lze jednoduše zajistit osazením kogenerační jednotky se spalovacími turbínami. Jedná se tedy o vhodné odvětví průmyslu a to i z hlediska potřeby tepla, která bývá díky vícesměnnému provozu rovnoměrná a také potřeba elektřiny je dosti vysoká. [2]

3.4.3 Potravinářský průmysl

Nejčastěji se zde uplatňují jednotky se spalovacími motory. Teplo se využívá především pro ohřevy, vaření i sušení. Také provoz bývá většinou vícesměnný. [2]

3.4.4 Strojírenský průmysl

Na rozdíl od výše uvedených odvětví průmyslu se strojírenský průmysl zcela nehodí pro nasazení kogenerační technologie. Je to dáno nízkou potřebou tepla mimo otopné období, kdy jediným využitím bývá ohřev teplé vody. Oproti tomu potřeba elektrické energie bývá v těchto podnicích vysoká. Zároveň obvyklý jednosměnný provoz nemůže zajistit dobré ekonomické výsledky. Nejčastěji lze osadit kogenerační jednotku pouze na ohřev teplé vody a to především se spalovacím motorem. [2]

3.5 Čistírny odpadních vod

Čistírny odpadních vod jsou jednoznačně nejvhodnější oblastí uplatnění kogenerační technologie. Často bývá kogenerační jednotka již součástí celého technologického cyklu čištění odpadních vod. Její vlastnosti lze uplatnit pro elektrický pohon technologických agregátů, teplo se využívá pro vyhřívání čistírenského kalu a navíc jako palivo pro jednotku lze využít kalový plyn, který je vedlejším produktem technologických procesů čištění odpadních vod. Z tohoto důvodu se nejčastěji uplatňují jednotky se spalovacími motory nebo turbínami. V současné době téměř všechny velkokapacitní čistírny disponují touto technologií. [2]

3.6 Spalovny komunálního odpadu

Jedná se o zařízení využívající druhotné energetické zdroje. Bývají vybaveny parními kotli se speciálně upraveným spalovacím zařízením. Je žádoucí aby stávající kotle s nízkým tlakem páry byly předělány tak, aby bylo dosaženo vyšších parametrů páry (tlak okolo 4 MPa a teplota do 400°C). Investice do přídavného zařízení parního okruhu dosahují velmi příznivých ekonomických parametrů. Nejčastěji se zde uplatňují jednotky s protitlakými nebo odběrovými parními turbínami. [2]

3.7 Zemědělské a lesnické provozy

Teplo vyrobené kogenerační jednotkou lze využít pro vytápění místností, přípravě teplé vody a také k technologickým účelům pro potřeby sušení. Toto teplo je v současné době nejčastěji získáváno spalováním uhlí, dřevního odpadu nebo zemního plynu v kotlích bez možností společné výroby s elektrickou energií. Potenciál mají moderní kogenerační technologie využívající ve velké míře biopaliva. Uplatní se parní turbíny malého výkonu, parní i spalovací motory. [2]

4. HLAVNÍ PRVKY KOGENERAČNÍ JEDNOTKY

Každá kogenerační jednotka se skládá z motoru, který pohání generátor elektrické energie. Pokud se budeme zabývat kogenerační jednotkou se zážehovým motorem pro spalování plynu, důležitou částí je také sestava pro dodávku plynu. Dále jednotka obsahuje výměník pro chlazení motoru a další výměníky pro získávání tepla ze spalin. Jednotka také bývá vybavena protihlukovým krytem a neobejde se bez řídicího systému. [8]

4.1 Plynová trať

Plynová trať zajišťuje přívod plynu k jednotce a jeho přípravu pro spalování v motoru. Osazené armatury zajišťují otevírání a zavírání přívodu plynu, regulaci tlaku plynu na hodnotu vhodnou pro přípravu spalovací směsi. Kogenerační jednotka s plynovým zážehovým motorem je připojena nejčastěji k nízkotlakému, popř. středotlakému rozvodu plynu. Nejčastěji používaným plynem je zemní plyn ale lze také s výhodou používat plyny vznikající v zemědělství a na čistírnách odpadních vod – bioplyn, na skládkách odpadů – skládkový plyn nebo lze využívat také dřevoplyn.

Plynová trať začíná filtrem, pokračuje přes sestavu plynových ventilů k tzv. „nulovému“ regulátoru, který snižuje tlak plynu téměř na hodnotu atmosférického tlaku, který je vhodný pro směšování se vzduchem. Dále je trať osazena regulátorem bohatosti, po kterém následuje směšovač směsi plynu se vzduchem. Regulátor bohatosti lze nastavit buď manuálně na základě naměřené hodnoty analyzátozem spalin nebo je jeho činnost řízena automaticky v závislosti na měření bohatosti směsi plynu se vzduchem. [8]

4.2 Plynový motor

Plynový motor lze považovat za nejdůležitější část kogenerační jednotky v ohledech provozních i ekonomických. Nejčastěji používaným motorem je plynový spalovací motor. Mimo tyto motory lze využívat motory zážehové nebo motory vznětové, primárně určeného pro spalování nafty, které jsou konstrukčně upraveny pro spalování

plynu. Tyto motory mohou buď přirozeně nasávat spalovací směs do válců nebo pracovat jako motory přeplňované.

Co se týče kvality používaných motorů z hlediska výkonu a provozních parametrů, lze se setkat s levnějšími tuzemskými motory nebo s odpovídající vyšší cenou si pořídit kvalitnější jednotku s motorem zahraničního výrobce.

Motory tuzemských výrobců většinou pocházejí od výrobců benzínových, ale především naftových motorů, kteří přicházejí na trh se svými vlastními koncepcemi motoru vhodného ke spalování plynu a umístěním do kogeneračních jednotek. Výkonové a provozní vlastnosti lze považovat za velmi dobré při porovnání s jejich nízkou cenou. Jako nejvhodnější se jeví sériově vyráběné motory velkých tuzemských výrobců jako je např. Zetor, Liaz nebo Škoda, kde je široká dostupnost náhradních dílů a servisu.

Motory renomovaných zahraničních výrobců lze z hlediska výkonu nebo provozní kvality hodnotit na velmi vysoké úrovni. Jejich minimální poruchovost nahrává bezproblémovému chodu jednotky a dlouhé životnosti. Tato kvalita je ovšem podložena vyšší pořizovací cenou, která je přibližně 2 – 3 krát vyšší než výkonově srovnatelný motor tuzemského výrobce.

Tab. A 4-1: Srovnání životnosti základních částí motoru [8]

část motoru	motory tuzemských výrobců [hod]	motory renomovaných výrobců [hod]
hlava motoru	4 000 - 6 000	10 000- 12 000
turbokompresor	cca 8 000	cca 12 000
pístová skupina, uložení klikového hřídele	25 000 - 35 000	40 000 - 50 000
zapalovací svíčka	500 - 1 000	2 000 - 6 000

Životnost motoru ovšem velice záleží na míře pravidelného servisu, který má velký vliv nejen na motor, ale především na životnost jednotky jako takové. [8]

4.3 Generátor elektrické energie

Generátor elektrické energie se k motoru jednotky připojuje pomocí spojky bez převodovky. Pro nižší výkony (cca do 100 kW) se používají levnější asynchronní

generátory. Asynchronní generátory se používají z důvodů omezení velikosti proudových rázů při připojení. Při použití asynchronního generátoru je nutno počítat pouze s paralelním zapojením jednotky se sítí a s nutností omezení připojovacích špiček a kompenzací účinníku.

Pokud se nechceme omezovat použitím asynchronního generátoru, lze využívat generátor synchronní. Je sice dražší, ale nemusíme už počítat s výkonovým omezením. Vyrábějí se ve dvou provedeních, a to v provedení jedno nebo dvouložiskovém. V případě použití jednoložiskového generátoru nepoužíváme pro spojení s motorem vysoce elastickou spojku, musíme ovšem počítat se zvýšeným mechanickým zatížením a tím i se snížením životnosti motoru. Tyto generátory se ovšem používají převážně u levnějších kogeneračních jednotek. Používané generátory se osazují automatickým fázováním k síti a také automatickou regulací účinníku na zadanou hodnotu. [8]

4.4 Výměníky tepla

Pro efektivní získávání energie z „odpadního“ tepla je nutno jednotku osadit výměníky. Tyto výměníky se používají jednak pro chlazení motorového okruhu ale také pro chlazení odváděných spalin z motoru. Celkově může mít jednotka až 4 druhy výměníků.

- výměník primárního okruhu,
- chladič oleje,
- spalinový výměník,
- chladič plnicí směsi,

Mimo tyto výměníky se používají i další vodou chlazené spalinové díly, např. chlazené výfukové potrubí, chlazená skříň turbodmychadla apod. Tyto díly vyrábí buď sám výrobce jednotky nebo jsou přímo osazeny v motoru. [8]

4.4.1 Výměník primárního okruhu

Tento výměník odvádí teplo z chladícího okruhu spalovacího motoru a jeho využití je základní podmínkou provozu kogenerační jednotky. Nejčastěji používaný výměník pro odvod tepla z primárního okruhu je typu voda – voda, pomocí kterého se nabíjí

sekundární okruh – spotřebitelů. Kvůli malým rozměrům a poměrně nízké ceně je nejvhodnější použít deskový výměník ale lze použít jakýkoliv vhodně nadimenzovaný výměník. [8]

4.4.2 Chladič oleje

Použití toho výměníku není bezpodmínečně nutné, je však doporučeno jeho osazení pro zisk tepla z oleje. Ten má díky trvale zvýšené teplotě chladicí vody také vyšší teplotu a navíc osazením tohoto výměníku lze dosáhnout snížením doby pravidelné výměny oleje.

Nejčastěji se používá chladič v trubkovém nebo lamelovém provedení, který bývá součástí motoru. Zapojuje se do primárního okruhu před vstupem chladicí vody do motoru. [8]

4.4.3 Spalinový výměník

Pro odnímání tepla ze spalin výfukových plynů se používají spalinové výměníky. Ty bývají konstruovány jako trubkový výměník se spalinami procházející vnitřkem trubek, protože je požadována minimální tlaková ztráta na straně spalin. Spalinové výměníky se umísťují za turbodmychadlo na straně spalin a na straně vody za výměník primárního okruhu. Preferovaným materiálem je běžná konstrukční ocel, která vychází 2 – 3 krát levněji než nerezová ocel. Praktické zkušenosti ukazují, že použití konstrukční oceli je z hlediska životnosti výměníku dostatečné a proto se její použití doporučuje. [8]

4.4.4 Chladič plnicí směsi (tzv. mezichladič)

Stejně jako chladič oleje bývá i tento chladič obvykle součástí motoru. Používá se pro snížení teploty plnicí směsi a tím přispívá ke správnému spalování v motoru. Využití tohoto tepla je problematické z důvodu jeho nižší teploty. Proto se buď maří v externím chladiči nebo jej lze využít pro předehřev teplé vody. [8]

4.5 Odvod spalin

Spaliny jsou odváděny z motoru, kde vznikají hořením směsi plynu se vzduchem přes spalínový výměník, kde jsou ochlazeny k výstupní přírubě a odtud spalínovodem nejčastěji do komína popř. k samostatné výfukové rouře. Teplota spalin vystupující ze spalínovodu bývá nejčastěji okolo 120°C ale může se pohybovat v rozmezí 100 – 150°C. Nižší teplota spalin odpovídá provozu jednotky na nižší výkon nebo při nižší teplotě vratné vody. Vyšší teplota ovšem poukazuje na možnost zanesení spalínového výměníku.

Správný chod jednotky je závislý na dodržení maximální tlakové ztráty. Tato hodnota se pohybuje v rozmezí 10 – 20 mbar a je závislá na rychlosti proudění spalin, dimenzích, členitosti i délce spalínovodu. Rychlost spalin je vhodné volit okolo 15 – 20 m/s a lze jí dosáhnout rozšířením spalínovodu. Všechny úpravy spalínovodu je ovšem nutno důsledně počítat a kontrolovat výslednou hodnotu tlakové ztráty. [8]

4.6 Chlazení

Ventilátor se umísťuje do vnitřního prostoru jednotky, aby odváděl teplo z horkých částí motoru a z prostoru pod protihlukovým krytem pryč a teplota zde nemohla nadměrně růst.

Proudění chladicího vzduchu zajišťuje ventilátor, který kromě ochlazování vnitřního prostoru obstarává také spalovací vzduch pro jednotku z okolí. Celkové množství přiváděného vzduchu jednotce je dáno součtem množství vzduchu ventilačního a spalovacího. U menších jednotek lze využít ventilátor generátoru elektrického proudu, větší jednotky se osazují samostatným axiálním ventilátorem s prodlouženým doběhem. Ventilátor odebírá vzduch nejčastěji z prostoru strojovny a vyfukuje ho přes vzduchotechnické potrubí mimo strojovnu ven do atmosféry. Teplota nasávaného vzduchu by se měla pohybovat v rozmezí 10 – 30°C, protože jeho parametry významně ovlivňují chod jednotky. Nízké teploty mohou činit problémy při rozběhu jednotky, vysoké teploty naopak jednotku mohou uvádět do havarijního stavu a odstavovat ji z provozu. Ohřátí vzduchu při průchodu jednotkou se pohybuje okolo 15°C.

Mimo větrání samotné jednotky nesmíme zapomenout na větrání prostoru strojovny. To se řídí příslušnými normami a předpisy pro kotelny s plynovými spotřebiči. Oproti plynovým kotelnám jsou nároky na větrání mnohonásobně vyšší z důvodu vyšší produkce tepla jednotkou. Toto teplo se musí odvézt a lze jej použít pro temperování přilehlých prostor i samotné strojovny. [8]

4.7 Prostředky ke snížení hluku

Hlavním zdrojem hluku v kogenerační jednotce je motor. Hluk se z něj může šířit těmito způsoby:

- prostupem přes stěny skříně nebo budovy,
- s odcházejícími výfukovými plyny.

Jako prostředek ke snížení hluku vznikajícího činností motoru se jednotky opatřují protihlukovými kryty. Kryt je konstruován jako samostatná panelová konstrukce, která má odnímatelné boční a obvykle i čelní části a z vnitřní strany je pokryta vhodným zvukově izolačním materiálem. Ten přispívá ke snížení přenosu hluku. Kryt samotný nezvětšuje prostorové nároky pro umístění jednotky a zároveň poskytuje možnost přístupu do jednotky. Z důvodu zabránění úniku hluku do okolí přes ventilační průduchy musí být tyto otvory opatřeny tlumičem hluku. Použitím protihlukového krytu lze snížit hlučnost jednotky o 15 až 25 dB. Lze také použít finančně srovnatelné řešení v podobě odhlučněného kontejneru, ovšem v tomto případě rostou požadavky na prostor.

Hluk doprovázející výfukové plyny se nejčastěji snižuje instalací tlumiče výfuku. Vzhledem k často stálým otáčkám motoru je vhodné použít tlumiče, které lze vyladit na příslušnou frekvenční hladinu, ve které se zvuk nejvíce nachází a tím pádem maximalizovat jeho účinnost. Základní útlum tlumičů se pohybuje okolo 25 – 35 dB, ve speciálních případech lze řadit tlumiče tak, aby hodnota útlumu byla i okolo hodnoty 50dB. [8]

B. PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část úzce navazuje na poznatky z části teoretické. V této části budou zpracovány informace poskytnuté provozovatelem nemovitosti a následně zvolena vhodná jednotka. Volba finální jednotky podléhá optimalizaci provozu, která zkoumá různé provozní režimy jednotky a určuje z hlediska technického i ekonomického nejvhodnější provozní režim zvolené jednotky. Praktická část je zakončena ekonomickou kalkulací zvolené jednotky a porovnává vstupní a provozní náklady kogenerační jednotky s možnými úsporami oproti současnému stavu.

1. DIMENZOVÁNÍ VÝKONU KOGENERAČNÍ JEDNOTKY

Dimenzování jmenovitého výkonu kogenerační jednotky a návrh způsobu jejího provozování je jedním z klíčových kroků, které ovlivňují jak ekonomiku a celou hospodárnost provozu, tak především tepelně – technické požadavky, které jednotkou požadujeme zabezpečit.

Je potřeba si uvědomit limit poměru elektrického a tepelného výkonu. Ten je dán konstrukčním provedením spalovacího motoru, jeho velikostí a teplotou vyráběného tepla. Nelze ho tedy libovolně měnit a lze počítat s rozsahem od 1:1,2 u jednotek s vyšším výkonem po jednotky s nejnižším výkonem, kde tento poměr může nabývat hodnot 1:2. Dalším důležitým faktem je, že při vyšší požadované teplotě vyráběného tepla se snižuje účinnost výroby elektrické energie. Ne zcela vhodné je také provozovat jednotku na nižší výkon než jmenovitý. Při nižším výkonu je snížena výroba elektrické energie, zato produkce tepelné energie je o to vyšší. Celkové využití energie z plynu je tím pádem stejné.

Dimenzovat výkon jednotky lze dle požadavku na teplo nebo elektrickou energii. Obecně bývá vhodnější dimenzovat jednotku na co nejvyšší elektrickou účinnost. Tu dostaneme, pokud jednotka pojede na jmenovitý výkon. Přebytečné teplo lze akumulovat do zásobníků vody, které jsou k jednotce paralelně připojeny a s jejich pomocí můžeme řešit časový rozdíl mezi výrobou tepla a požadavkem na něj. V letním

období se vyplácí právě tento způsob provozu jednotky, kdy jednotka běží pouze v době odběrových špiček elektřiny (vyšší výkupní cena el. energie) a vyrobené teplo je akumulováno pro celodenní odběr teplé vody.

Pro správný návrh kogenerační jednotky je nezbytné stanovení diagramu odběru tepla a elektrické energie, které lze pokrýt kogenerační jednotkou. V případě větších objektů s vyšší vlastní spotřebou elektrické energie je třeba elektrický výkon kogenerační jednotky nejprve dimenzovat pro pokrytí vlastní spotřeby a následně kontrolovat stupeň využití vyrobeného tepla dle diagramu spotřeby tepla objektu. Doplněk elektrické energie je dodáván ze sítě, a nedostatek tepelné energie pokryjí špičkové zdroje.

Při návrhu jednotky je důležité si uvědomit, že při provozu tohoto zařízení vzniká současně tepelná i elektrická energie. Jakékoliv maření energií nebo provoz jednotky na nižší výkon než jmenovitý se negativně projevují na ekonomice celé investice. Je tedy třeba jednotku navrhovat tak, aby:

- vyrobené teplo vznikající při výrobě elektřiny bylo maximálně využito,
- vyrobené teplo i elektrická energie byla maximálně zhodnocena. [10]

2.NÁVRH KOGENERAČNÍ JEDNOTKY

Návrh kogenerační jednotky bude proveden dle vstupních informací provozovatele nemovitosti, klimatických údajů a předpisů souvisejících s touto problematikou.

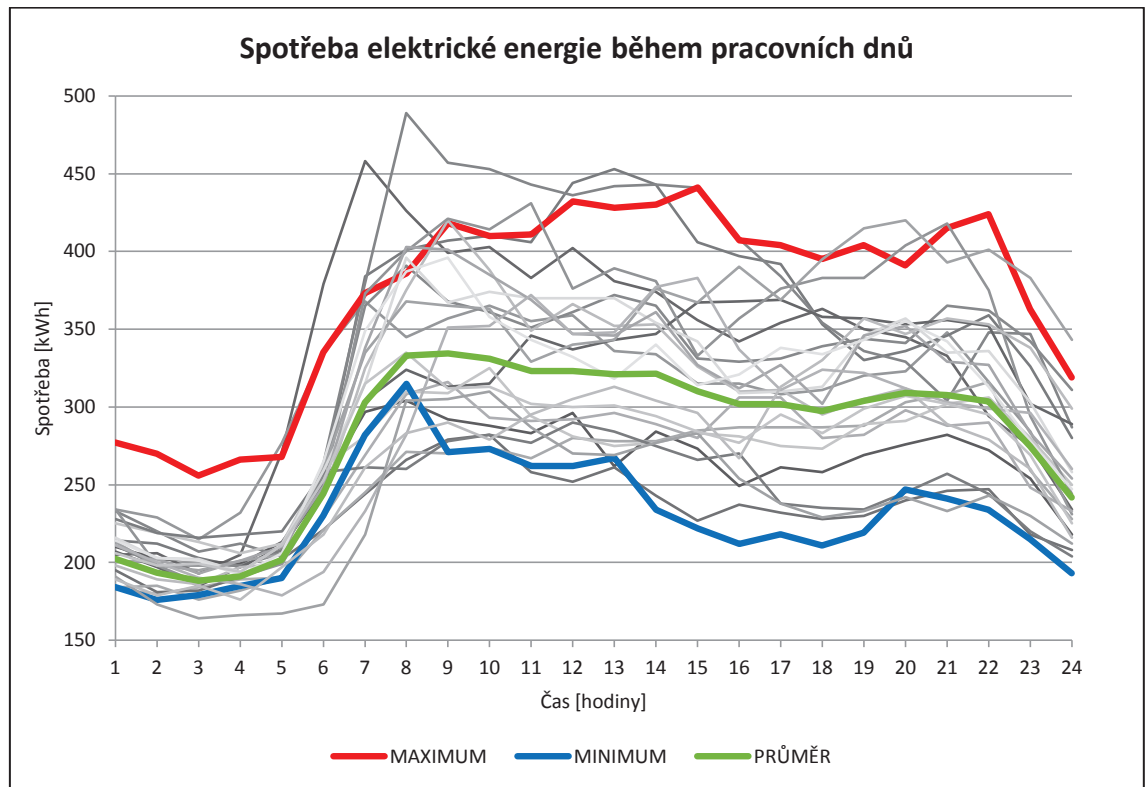
2.1 Vstupní informace

Návrh kogenerační jednotky bude proveden pro výškový objekt v Jihomoravském kraji. Jedná se o vícepatrový objekt postaven v 80. letech 20. století. Objekt má stávající fasádu i okna (návrh kogenerační jednotky bude proveden na stávající stav, i když z hlediska úspor by bylo lepší objekt rekonstruovat výměnou oken a zateplením a až na tento nový stav navrhovat jednotku). Zdrojem tepla je v současné době předávací stanice pára/voda. Ohřev teplé vody je také zajištěn pomocí této předávací stanice a doplněn samostatnou výměňkovou stanicí pára/voda. Pára je do objektu dodávána centralizovaným zásobováním teplem (CZT) z městské teplárny.

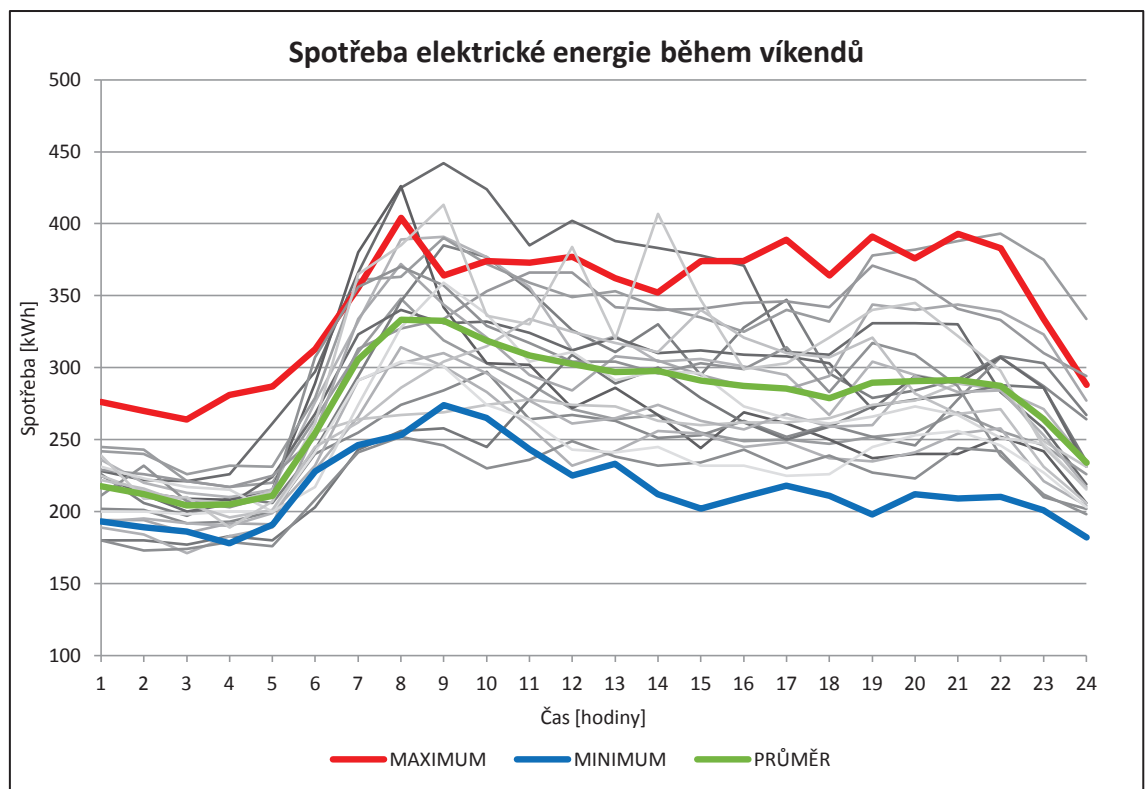
2.1.1 Elektrická energie

Jako výchozí informace o spotřebě elektrické byly použity hodnoty dlouhodobého měření spotřeby elektrické energie. Spotřeba byla sledována zvlášť pro dny pracovního týdne a pro dny v období víkendů. Průběh křivek spotřeb elektrické energie odpovídá velmi přesně celkovému dennímu průběhu, protože graf byl vytvořen z hodinových hodnot. Z vytvořených grafů lze konstatovat, že spotřeba elektřiny je během hodnocených období relativně ustálená jak svým denním průběhem, tak také rozdíly mezi jednotlivými dny. Maximální odchylky mezi shodnými hodinami porovnávaných dní činí něco okolo 200 kW v době odběrové špičky. Lze také konstatovat, že pracovní týden je z energetického hlediska náročnější než víkend. Křivky průměrných hodnot jsou svým průběhem velmi podobné. Pro pokrytí minimálních spotřeb elektrické energie by navržená jednotka měla být dimenzována na 200 kW elektrického výkonu. Zbytek potřebného (špičkového) výkonu by poté byl dodán ze sítě. Tyto informace nejlépe shrnují následující grafy.

Graf B 2 - 1 Spotřeba elektrické energie během pracovních dnů [11]



Graf B 2 - 2 Spotřeba elektrické energie během víkendů [11]



2.1.2 Tepelná energie

Jako výchozí hodnoty pro zjištění spotřeby tepelné energie byly použity měsíční data odběru páry. Projektovat kogenerační jednotku dle těchto hodnot by bylo velmi zkršené, proto se pro stanovení potřeb tepelné energie a ročního diagramu odběru tepla muselo přistoupit k přepočtům na univerzální údaj. Takovým údajem byl zvolen parametr H_T – měrná ztráta prostupem tepla [W/K]. V našem případě to ovšem není přesně měrná ztráta, tak jak ji definuje norma ČSN EN ISO 13 789, ale výpočtem této hodnoty jsme z měsíčních hodnot spotřeb páry určili měrnou spotřebu páry pro vytápění a vzduchotechniku.

Stanovení parametru H_T

Způsob výpočtu bude proveden pro jeden měsíc. Postup pro další měsíce je shodný.

a) průměrná teplota v lednu: **1,1 °C**

b) návrhová teplota v obytné místnosti: **20 °C**

c) počet otopných dní: **31**

d) spotřeba páry v měsíci lednu: $1\,477\text{ GJ} \Rightarrow 1\,477 * 277,78 = \mathbf{410\,281,06\text{ kWh}}$

e) denní spotřeba páry: $410\,281,06/31 = \mathbf{13\,234,87\text{ kWh}}$

e) průměrná spotřeba páry pro ohřev TV: $138,5\text{ GJ/měsíc} \Rightarrow 138,5 / 31 = 4,47\text{ GJ/den}$
 $\Rightarrow (4,47 * 277,78)/40*45 = \mathbf{1\,396,18\text{ kWh/den}}$

pozn.: odhad spotřeb teplé vody v měsíci lednu byl proveden dle letních měsíců, kdy neprobíhá topná sezóna a veškeré teplo je spotřebováno pro ohřev TV. Ve výpočtu je také zohledněn fakt, že v zimě je potřeba tepla pro ohřev teplé vody větší než v létě, protože počítáme s chladnější studenou vodou. (Δt léto = 40, Δt zima = 45)

e) denní spotřeba páry pro ÚT a VZT: $13\,234,87 - 1\,396,18 = \mathbf{11\,838,69\text{ kWh/den}}$

f) maximální potřebný výkon: $11\,838,69 / 24 = \mathbf{493,28\text{ kW}}$

g) rozdíl teplot: $20 - 1,1 = \mathbf{18,9\text{ °C}}$

h) parametr H_T : $493,28 / 18,9 = \mathbf{26,10\text{ kW/K}}$

Tab. B 2 - 1 Stanovení parametru H pro jednotlivé měsíce [11]

Měsíc	Spotřeba páry	Spotřeba páry	Počet topných dní	Počet dní	Denní spotřeba páry pro ÚT a TV	Denní spotřeba páry pro TV	Denní spotřeba páry pro ÚT	Nutný výkon zdroje	ΔT	H_T
[-]	[GJ]	[kWh]	[-]	[-]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kW]	[°C]	[kW/K]
leden	1477	410281,06	31	31	13234,87	1396,18	11838,69	493,28	18,9	26,10
únor	1586	440559,08	29	29	15191,69	1426,14	13765,56	573,56	23,2	24,72
březen	892	247779,76	31	31	7992,90	1303,10	6689,79	278,74	13,1	21,28
duben	734	203890,52	24	30	6796,35	1346,54	5449,81	227,08	9,3	24,42
květen	220	61111,60	5	31	1971,34	1272,08	699,27	29,14	2,8	10,41
červen	160	44444,80	0	30	1481,49	1282,42	0,00	0,00	-0,1	0,00
červenec	139	38611,42	0	31	1245,53	1241,05	0,00	0,00	-1,4	0,00
srpen	138	38333,64	0	31	1236,57	1492,51	0,00	0,00	-0,9	0,00
září	187	51944,86	6	30	1731,50	1346,54	384,96	16,04	4,6	3,49
říjen	738	205001,64	27	31	6612,96	1334,13	5278,83	219,95	10,7	20,56
listopad	1030	286113,40	30	30	9537,11	1410,66	8126,45	338,60	13,3	25,46
prosinec	1544	428892,32	31	31	13835,24	1396,18	12439,06	518,29	21	24,68

Průměrný parametr H_{TP}

Průměrný parametr H_{TP} je vypočítán prostým aritmetickým průměrem z jednotlivých měsíčních parametrů H_T . Do průměru jsou zahrnuty pouze zimní měsíce, protože v přechodovém období je složité určit poměr mezi vytápěním a ohřevem teplé vody, což je patrné v tabulce B1-1, kde je vidět, že v měsíci květnu a září dosahujeme zcela odlišného parametru H_T .

$$H_{TP} = \frac{\sum H_T}{\sum \text{měsíc}}$$

$$H_{TP} = \frac{26,10 + 24,72 + 21,28 + 24,42 + 20,56 + 25,46 + 24,68}{7}$$

$$H_{TP} = 23,77 \text{ kW/K}$$

Výpočet průměrného parametru H_{TP} slouží jako podklad pro sestavení ročního odběrového diagramu tepla.

Roční diagram odběru tepla

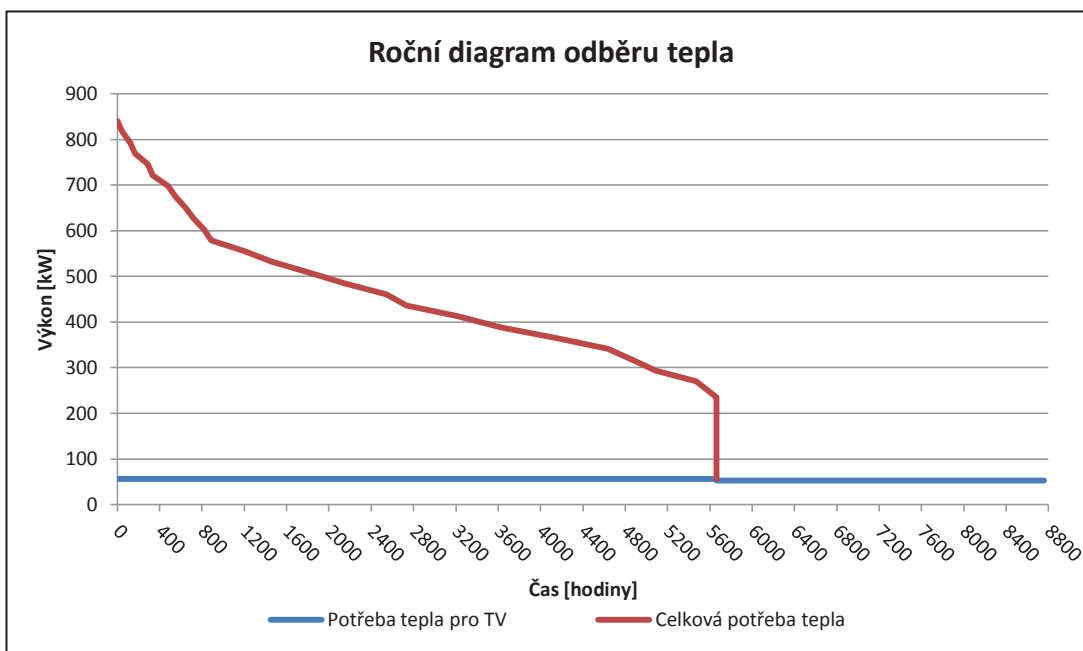
Roční diagram odběru tepla stanovuje dobu trvání požadavku ve dnech nebo hodinách na určitou velikost tepelného výkonu zdroje. Pro dimenzování kogenerační jednotky je tento diagram nezbytný, jelikož stanovuje, po jakou dobu bude zvolený výkon jednotky využit. Pro dobrou ekonomickou návratnost investice by tato doba provozu neměla klesnout pod 3000 hodin za rok. Pro zbývající část tepelného výkonu, který nepokryje kogenerační jednotka je třeba navrhnout vhodný špičkový zdroj. Tím bude v našem případě stávající předávací stanice páry.

Roční diagram odběru tepla je stanoven z klimatických dat a průměrného parametru H_{TP} .

Tab. B 2 - 2 Výpočet velikosti zdroje dle venkovní teploty [11]

Venkovní teplota	Počet dní venkovní teploty	Potřeba tepla pro ÚT	Potřeba tepla pro TV	Potřeba tepla pro ÚT a TV	Počet hodin provozu
[°C]	[dny]	[kW]	[kW]	[kW]	[hod]
-13	0	784,41	56	840,41	0
-12	2	760,64	56	816,64	48
-11	5	736,87	56	792,87	120
-10	7	713,1	56	769,1	168
-9	12	689,33	56	745,33	288
-8	14	665,56	56	721,56	336
-7	20	641,79	56	697,79	480
-6	23	618,02	56	674,02	552
-5	27	594,25	56	650,25	648
-4	30	570,48	56	626,48	720
-3	34	546,71	56	602,71	816
-2	37	522,94	56	578,94	888
-1	50	499,17	56	555,17	1200
0	61	475,4	56	531,4	1464
1	76	451,63	56	507,63	1824
2	90	427,86	56	483,86	2160
3	106	404,09	56	460,09	2544
4	114	380,32	56	436,32	2736
5	134	356,55	56	412,55	3216
6	151	332,78	56	388,78	3624
7	173	309,01	56	365,01	4152
8	193	285,24	56	341,24	4632
9	203	261,47	56	317,47	4872
10	212	237,7	56	293,7	5088
11	228	213,93	56	269,93	5472
12	236	190,16	56	246,16	5664

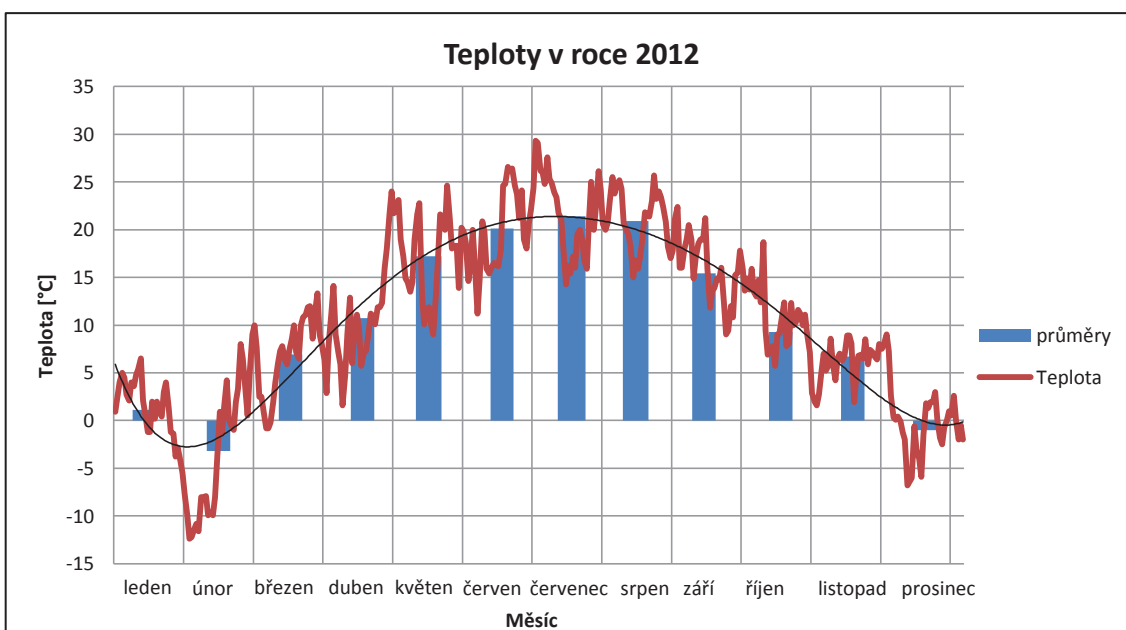
Graf B 2 - 3 Roční diagram odběru tepla



2.1.3 Klimatická data

Jako další vstupní hodnoty pro návrh velikosti kogenerační jednotky slouží klimatické údaje průměrných denních teplot. Z nich byl vytvořen následující graf, do kterého se ještě vnesly hodnoty průměrných měsíčních teplot.

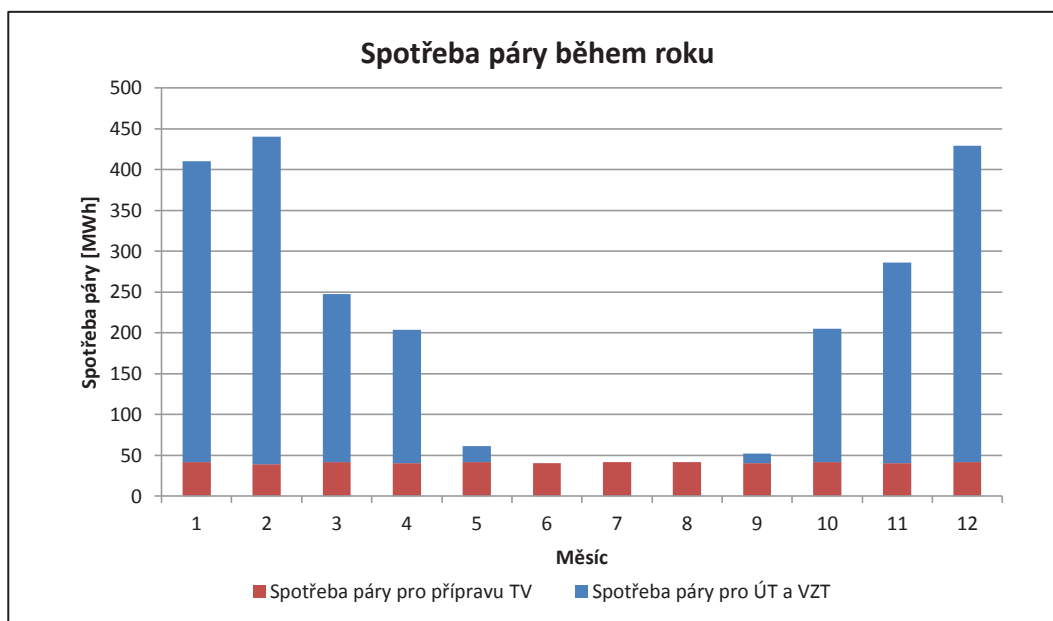
Graf B 2 - 4 Teploty v roce 2012 [14]



2.2 Volba velikosti kogenerační jednotky

Při volbě velikosti kogenerační jednotky hraje roli více faktorů. Primárním faktorem je samozřejmě bilance spotřeb energií v navrhovaném objektu. K tomu nám poslouží roční diagram odběru tepla a průběh spotřeb elektrické energie v průběhu dní. Velikost jednotky se poté volí tak, aby doba provozu jednotky byla co nejvyšší. Zbývající potřeba tepla, především v letních měsících v době odstávky jednotky a v zimě při nižších venkovních teplotách musí pokrýt špičkový zdroj tepla. Zbývající potřeba elektrické energie, kterou jednotka nevyrobí je standardně dodávána ze sítě. Na požadavek doby provozu jednotky má elektrická energie pouze minimální vliv, protože změna průběhů potřeb elektrické energie během roku je minimální. Oproti tomu požadavek na tepelnou energii se v průběhu roku dramaticky mění. Potřeby tepla na ohřev teplé vody bývají neměnné v průběhu roku, mění se ovšem požadavek na odběr tepla k přípravě topné vody. Spotřebu tepla během roku znázorňuje následující graf.

Graf B 2 - 5 Spotřeba páry během roku [11]



Druhým faktorem, který má podstatný vliv na celou ekonomiku je volba kogeneračního systému. Zde je na výběr buďto horní nebo dolní systém. Oba systémy se liší v tom, že u horního systému je nejprve vyrobeno teplo a následně po jeho částečném využití se vyrábí elektrická energie, nebo systém dolní, který je běžnější, a zde je prioritou výroba elektrické energie a následného využití „odpadního“ tepla pro výrobu tepelné energie.

První ze systému je častý v průmyslu. S druhým systémem se setkáme v běžných aplikacích (elektrárny, výtopy, okrskové kotelny...). V případě návrhu kogeneračního systému v bytovací budově je vhodný dolní systém s preferencí výroby elektřiny.

Dalším krokem je tzv. optimalizace systému. Optimalizace znamená, že jsou porovnávány různé alternativy provozu jednotky. Jeden z nejčastějších způsobů provozování jednotky je ten, že jednotka pokrývá základní potřebu tepla a elektrické energie a zbytek je dodán ze sítě. Elektrický výkon jednotky může být také navržen tak, že převyšuje potřebu elektřiny v objektu a právě tyto přebytky jsou prodávány do sítě. Tento způsob provozu si ovšem většinou vyžaduje akumulátor tepla, do kterého jsou vyvedeny přebytky (zásoby) tepla, které jsou využity mimo dobu odběrové špičky elektřiny, ve které jsou výkupní ceny elektřiny nejvyšší.

2.3 Optimalizace kogeneračního systému

Pro optimalizaci kogeneračního systému byly zvoleny 2 kogenerační jednotky tuzemského výrobce TEDOM a.s. s různými elektrickými i tepelnými výkony. Přehled zvolených jednotek je znázorněn níže v tabulce 2 - 3. Dále se vycházelo z dat poskytnutými provozovatelem objektu, z klimatických dat a hodnot výše spočtených. Optimalizace systému bude provedena pro kogenerační jednotku spalující zemní plyn ve spolupráci se špičkovým zdrojem, kterým je stávající předávací stanice páry. Pro vhodnější jednotku bude dále provedena optimalizace výkonu jednotky.

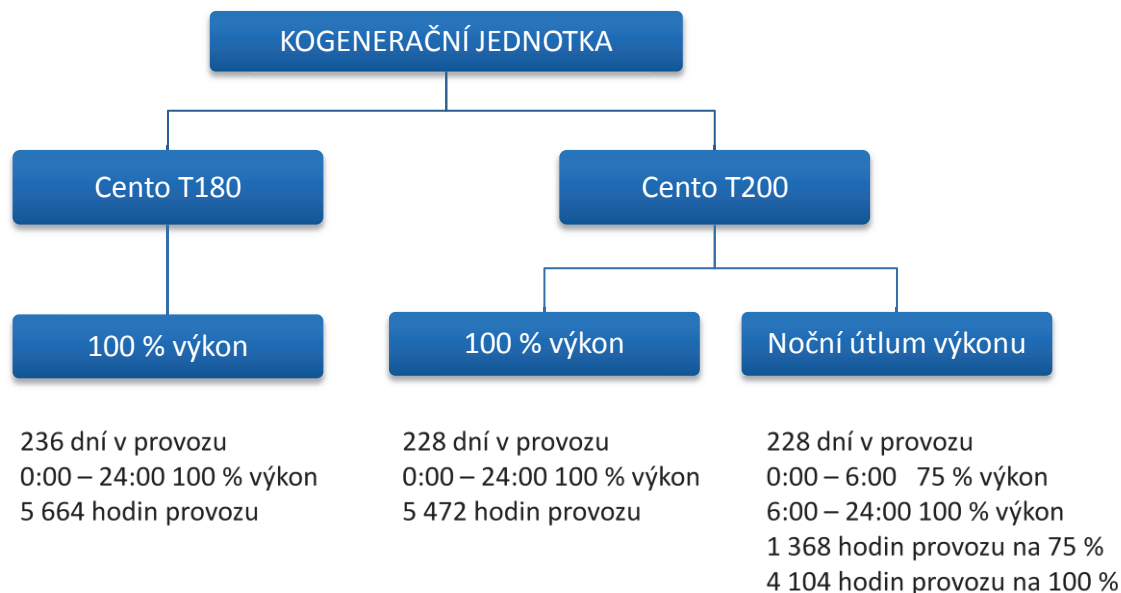
Tab. B 2 - 3 Parametry zvolených jednotek [12]

Název	Cento T180	Cento T200
Provedení	Protihlukový kryt	Protihlukový kryt
Motor	TEDOM, TG 185 G5V TW 86	TEDOM, TG 210 G5V TW 86
Technologický chladič	Ano	Ano
Elektrický výkon	180	200
Tepelný výkon	227	253
spotřeba ZP	48,6	54
Příkon	459,0	510,0
Účinnost el.	39,2%	39,2%
Účinnost tep.	49,5%	49,6%
Účinnost celková	88,7%	88,8%
CZK/kW_e	17 222	16 500
Cena v CZK	3 100 000	3 300 000

2.3.1 Optimalizované varianty

Následující graf přehledně znázorňuje varianty kogeneračních jednotek, jejichž provoz je předmětem optimalizace.

Graf B 2 - 6 Optimalizované varianty



2.3.2 Cento T180

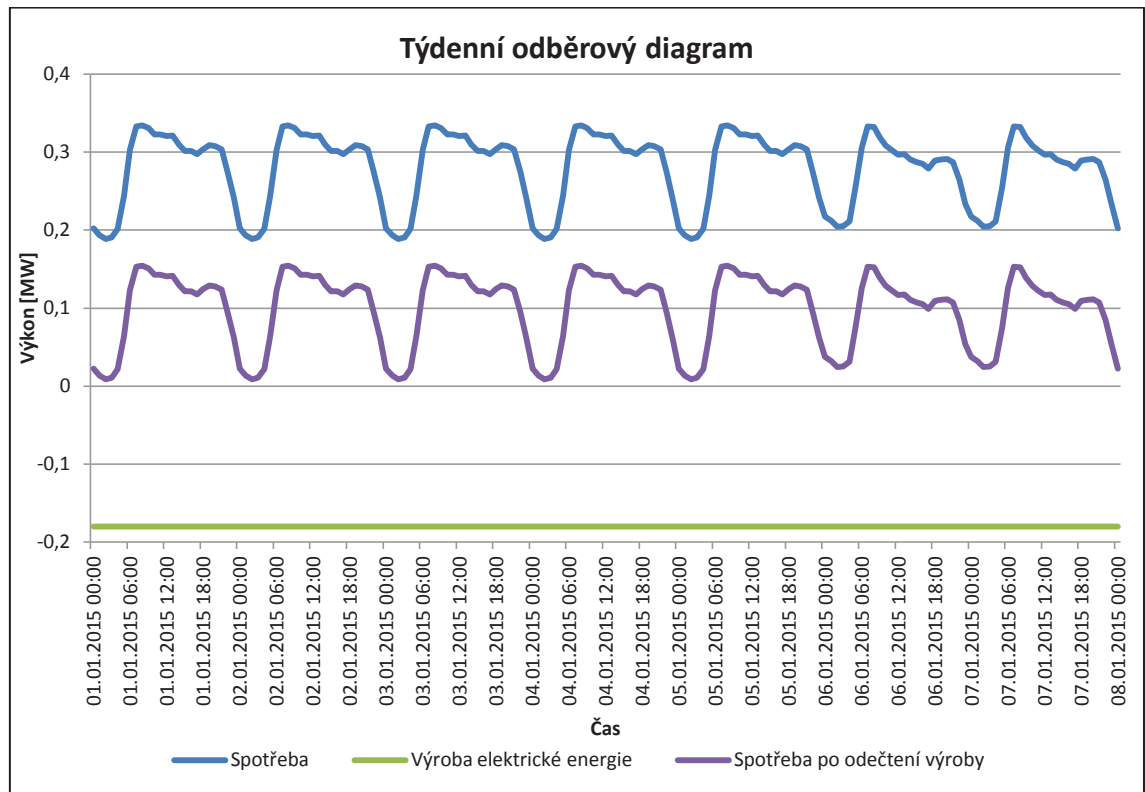
Postup řešení vychází z předpokladu spolupráce kogenerační jednotky a předávací stanice páry. Byl využit algoritmus v programu Excel, který dle zadaných podmínek vypočítává množství vyrobeného tepla a na základě této informace dopočítá množství tepla dodané špičkovým zdrojem. Zadané podmínky jsou následující:

- Požadovaný tepelný výkon je vyšší než tepelný výkon jednotky
a zároveň
- Doba trvání požadavku na výkon je vyšší než nastavená hodnota

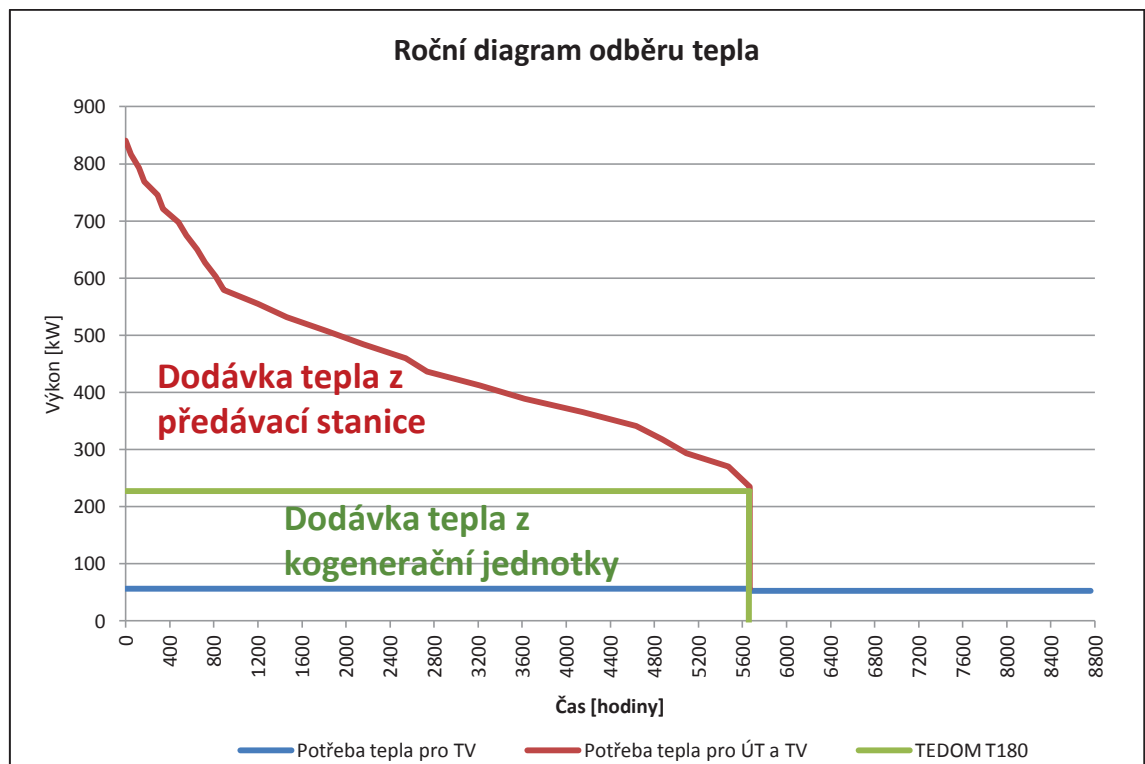
Vstupní hodnoty:

- Tepelný výkon jednotky: 227 kW
- Elektrický výkon jednotky: 180 kW
- Maximální doba chodu jednotky: 5 664 hodin (236 dní – celá topná sezóna)
- Týdenní odběrový diagram elektrické energie
- Roční odběrový diagram tepla

Graf B 2 - 7 Týdenní odběrový diagram jednotky T 180 [18]



Graf B 2 - 8 Poměr tepla vyrobené kogenerační jednotkou T180 a předávací stanicí [11]



Řešení:

Tab. B 2 - 4 Algoritmus řešení jednotky T180 (ve spolupráci se společností ENA s.r.o.)

Vstupní hodnoty potřeb tepla				Dodávka tepla z PS		Dodávka z KJ		Doba
Potřeba tepla pro ÚT	Potřeba tepla pro TV	Celková potřeba tepla	Provozní hodiny	Výkon PS	Množství dodaného tepla	Výkon KGJ	Množství dodaného tepla	Doba provozu
kW	kW	kW	hod	kW	kWh	kW	kWh	MTh
784	56	840	0	613	0	227	0	0
761	56	817	48	590	28 303	227	10 896	48
737	56	793	120	566	40 743	227	16 344	72
713	56	769	168	542	26 021	227	10 896	48
689	56	745	288	518	62 200	227	27 240	120
666	56	722	336	495	23 739	227	10 896	48
642	56	698	480	471	67 794	227	32 688	144
618	56	674	552	447	32 185	227	16 344	72
594	56	650	648	423	40 632	227	21 792	96
570	56	626	720	399	28 763	227	16 344	72
547	56	603	816	376	36 068	227	21 792	96
523	56	579	888	352	25 340	227	16 344	72
499	56	555	1200	328	102 389	227	70 824	312
475	56	531	1464	304	80 362	227	59 928	264
452	56	508	1824	281	101 027	227	81 720	360
428	56	484	2160	257	86 305	227	76 272	336
404	56	460	2544	233	89 507	227	87 168	384
380	56	436	2736	209	40 189	227	43 584	192
357	56	413	3216	186	89 064	227	108 960	480
333	56	389	3624	162	66 006	227	92 616	408
309	56	365	4152	138	72 869	227	119 856	528
285	56	341	4632	114	54 835	227	108 960	480
261	56	317	4872	90	21 713	227	54 480	240
238	56	294	5088	67	14 407	227	49 032	216
214	56	270	5472	43	16 485	227	87 168	384
190	56	246	5664	19	3 679	227	43 584	192
0	56	56	5688	56	1 344	0	0	0
...
...
0	56	56	8760	56	1 344	0	0	0

Výstup:

Algoritmem byly spočítány dle zadaných podmínek tyto údaje:

- Množství vyrobeného tepla v KGJ: **1 286 MWh**
- Množství vyrobeného tepla v PS: **1 424 MWh**
- Doba provozu za rok: **5 664 hodin (236 dní)**

Další dopočitatelné údaje:

- Množství vyrobené elektrické energie: **1 020 MWh**
- Množství nakoupené elektrické energie: **1 431 MWh**
- Spotřeba paliva za výpočtovou dobu: **275 319 m³**

2.3.3 Cento T200 v provozním režimu bez nočního útlumu

Postup řešení vychází z předpokladu spolupráce kogenerační jednotky a předávací stanice páry. Byl využit algoritmus v programu Excel, který dle zadaných podmínek vypočítává množství vyrobeného tepla a na základě této informace dopočítá množství tepla dodané špičkovým zdrojem. Dále se předpokládá, že přebytečná elektrická energie, která vzniká v nočních a ranních hodinách, bude prodávána do sítě.

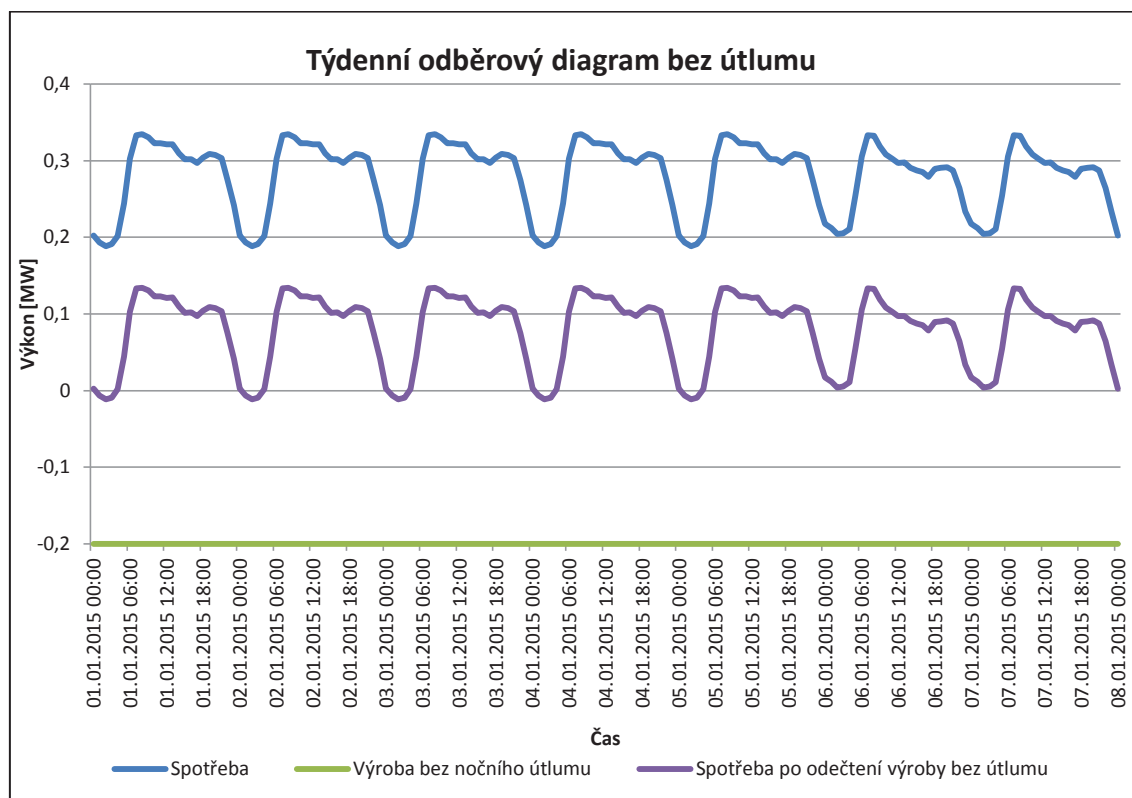
Zadané podmínky jsou následující:

- Požadovaný tepelný výkon je vyšší než tepelný výkon jednotky
a zároveň
- Doba trvání požadavku na výkon je vyšší než nastavená hodnota

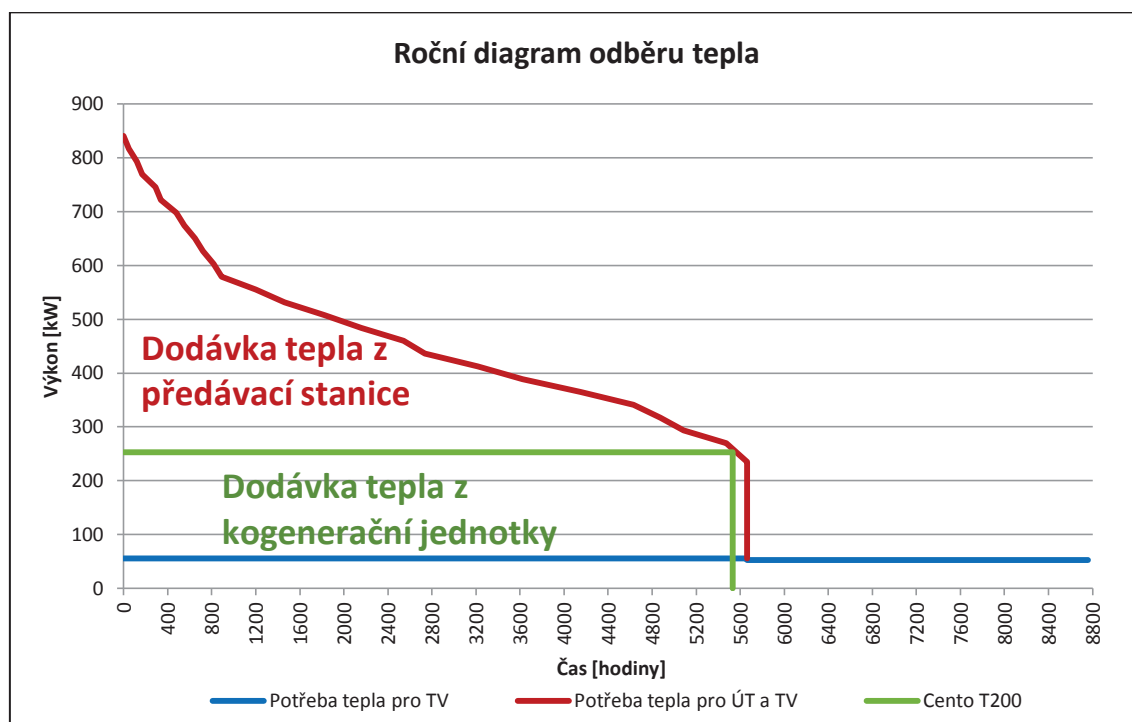
Vstupní hodnoty:

- Tepelný výkon jednotky: 253 kW
- Elektrický výkon jednotky: 200 kW
- Maximální doba chodu jednotky: 5 500 hodin
- Týdenní odběrový diagram elektrické energie
- Roční odběrový diagram tepla

Graf B 2 - 9 Týdenní odběrový diagram jednotky T 200 bez nočního útlumu [18]



Graf B 2 - 10 Poměr tepla vyrobené kogenerační jednotkou T200 a předávací stanicí [11]



Řešení:

Tab. B 2 - 5 Algoritmus řešení jednotky T200 (ve spolupráci se společností ENA s.r.o.)

Vstupní hodnoty potřeb tepla				Dodávka tepla z PS		Dodávka z KJ		Doba
Potřeba tepla pro ÚT	Potřeba tepla pro TV	Celková potřeba tepla	Provozní hodiny	Výkon PS	Množství dodaného tepla	Výkon KGJ	Množství dodaného tepla	Doba provozu
kW	kW	kW	hod	kW	kWh	kW	kWh	MTh
784	56	840	0	587	0	253	0	0
761	56	817	48	564	27 055	253	12 144	48
737	56	793	120	540	38 871	253	18 216	72
713	56	769	168	516	24 773	253	12 144	48
689	56	745	288	492	59 080	253	30 360	120
666	56	722	336	469	22 491	253	12 144	48
642	56	698	480	445	64 050	253	36 432	144
618	56	674	552	421	30 313	253	18 216	72
594	56	650	648	397	38 136	253	24 288	96
570	56	626	720	373	26 891	253	18 216	72
547	56	603	816	350	33 572	253	24 288	96
523	56	579	888	326	23 468	253	18 216	72
499	56	555	1200	302	94 277	253	78 936	312
475	56	531	1464	278	73 498	253	66 792	264
452	56	508	1824	255	91 667	253	91 080	360
428	56	484	2160	231	77 569	253	85 008	336
404	56	460	2544	207	79 523	253	97 152	384
380	56	436	2736	183	35 197	253	48 576	192
357	56	413	3216	160	76 584	253	121 440	480
333	56	389	3624	136	55 398	253	103 224	408
309	56	365	4152	112	59 141	253	133 584	528
285	56	341	4632	88	42 355	253	121 440	480
261	56	317	4872	64	15 473	253	60 720	240
238	56	294	5088	41	8 791	253	54 648	216
214	56	270	5472	17	6 501	253	97 152	384
190	56	246	5664	246	47 263	0	0	0
0	56	56	5688	56	1 344	0	0	0
...
...
0	56	56	8760	56	1 344	0	0	0

Výstup:

Algoritmem byly spočítány dle zadaných podmínek tyto údaje:

- Množství vyrobeného tepla v KGJ: **1 385 MWh**
- Množství vyrobeného tepla v PS: **1 325 MWh**
- Doba provozu za rok: **5 472 hodin (228 dní)**

Další dopočitatelné údaje:

- Množství vyrobené elektrické energie: **1 095 MWh**
- Množství nakoupené elektrické energie: **1 356 MWh**
- Množství přebytečné elektrické energie: **4,6 MWh**
- Spotřeba paliva za výpočtovou dobu: **295 488 m³**

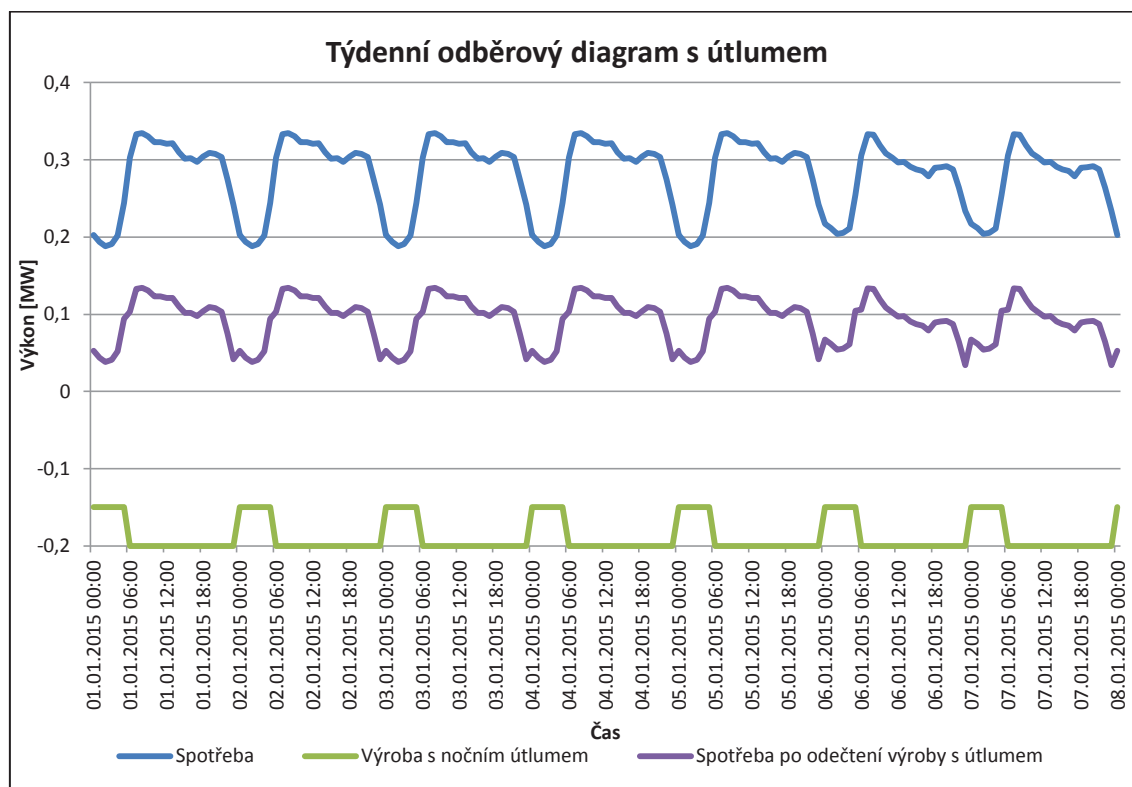
2.3.4 Cento T200 v provozním režimu s nočním útlumem

Tato optimalizační varianta je zvolena vzhledem k možnému ekonomickému přínosu v případě, že jednotka bude v nočních a ranních hodinách provozována na nižší výkon. Snížení výkonu musí být takové, aby nedocházelo ke vzniku přebytku elektrické energie v místě výroby. Snížení výkonu pro noční hodiny je nastaveno na 75% jmenovitého výkonu jednotky. Pro tento případ je vytvořen týdenní odběrový diagram, který znázorňuje noční útlumy výroby elektrické energie.

Vstupní hodnoty:

- Tepelný výkon jednotky: 253 kW v době od 6:00 - 24:00
189 kW v době od 0:00 - 6:00
- Elektrický výkon jednotky: 200 kW v době od 6:00 - 24:00
150 kW v době od 0:00 - 6:00
- Maximální doba chodu jednotky: 5 500 hodin
- Týdenní odběrový diagram elektrické energie
- Roční odběrový diagram tepla

Graf B 2 - 11 Týdenní odběrový diagram se sníženým nočním provozem [18]



Výstup:

Při provozu kogenerační jednotky v provozním režimu s nočními útlumy, by bylo množství energií následující:

a) v době jmenovitého výkonu od 6:00 - 24:00:

- Doba provozu za rok: **4 104 hodin (po dobu 228 dní)**
- Množství vyrobeného tepla v KGJ: **1 038 MWh**
- Množství vyrobené elektrické energie: **821 MWh**
- Spotřeba paliva za výpočtovou dobu: **221 616 m³**

b) v době 75% jmenovitého výkonu od 0:00 - 6:00:

- Doba provozu za rok: **1 368 hodin (po dobu 228 dní)**
- Množství vyrobeného tepla v KGJ: **260 MWh**
- Množství vyrobené elektrické energie: **205 MWh**
- Spotřeba paliva za výpočtovou dobu: **56 908 m³**

c) celkové množství energií:

- Doba provozu za rok: **5 472 hodin (228 dní)**
- Množství vyrobeného tepla v KGJ: **1 298 MWh**
- Množství vyrobeného tepla v PS: **1 412 MWh**
- Množství vyrobené elektrické energie: **1 026 MWh**
- Množství nakoupené elektrické energie: **1 425 MWh**
- Spotřeba paliva za výpočtovou dobu: **284 681 m³**

Porovnání jednotek:

Tab. B 2 - 6 Porovnání výsledných hodnot

Název	Cento T180	Cento T200	Cento T200 s nočním útlumem
Množství vyrobeného tepla v KGJ	1 286 MWh	1 385 MWh	1 298 MWh
Množství vyrobeného tepla v PS	1 424 MWh	1 325 MWh	1 412 MWh
Doba provozu za rok	5 664 hod	5 472 hod	5 472 hod
Množství vyrobené elektrické energie	1 020 MWh	1 095 MWh	1 026 MWh
Množství nakoupené elektrické energie	1 431 MWh	1 356 MWh	1 425 MWh
Množství přebytečné elektrické energie	0 MWh	4,6 MWh	0 MWh
Spotřeba paliva	275 319 m ³	295 488 m ³	278 525 m ³
Předpokládaná úspora	1,31 mil/rok*	1,47 mil/rok*	1,43 mil/rok*

* viz. kapitola 3

Závěr optimalizace:

Byly provedeny optimalizační výpočty pro 2 jednotky. Pro jednotku Cento T200 byla navíc provedena optimalizace nejen jednotky samotné, ale také její možný provozní režim s nočním útlumem. Provozní režim s nočním útlumem měl potvrdit nebo vyvrátit tvrzení, že provoz jednotky v nočních hodinách a prodej přebytečné elektrické energie v této době je nevýhodný kvůli nízké výkupní ceně elektrické energie. Přebytky elektřiny jsou ale natolik nízké, že snižování výkonu má v tomto případě spíše negativní vliv. Ten je dán nutným nákupem elektrické energie a tepla ze stávajících zdrojů. Závěrem optimalizace je výběr kogenerační jednotky a její následná finanční analýza. Pro tuto finanční analýzu je zvolena jednotka Cento T200 bez režimu s nočními útlumy.

2.4 Základní technické parametry jednotky Cento T200

Kogenerační jednotka TEDOM Cento T200 se řadí mezi stroje středních výkonů, na bázi plynových motorů. Blokované uspořádání této jednotky obsahuje soustrojí motor-generátor, kompletní tepelné zařízení jednotky a protihlukový kryt. Součástí dodávky je volně dodaný tlumič výfuku. KGJ je osazena elektrickým rozvaděčem se silovou a ovládací částí. KGJ je určena pro provozování na zemní plyn a instalaci do kryté strojovny. KGJ je v provedení se synchronním generátorem určená pro paralelní provoz se sítí: 400V/50 Hz. Teplovodní okruh je přizpůsoben teplotnímu spádu 90/70°C. [12]



Obr. B 2 - 1: Schéma kogenerační jednotky TEDOM Cento T200 [12]

2.4.1 Generátor

Zdrojem elektrické energie je synchronní generátor se základními parametry dle uvedeného přehledu:

Tab. B 2 - 7 Parametry generátoru [12]

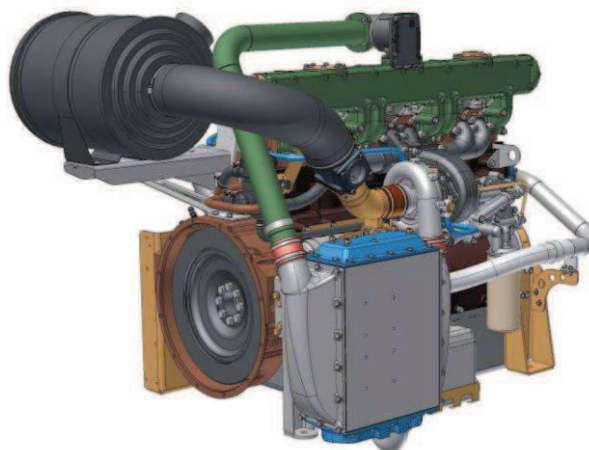
výkon generátoru	315 kVA / 252 kW
cos φ	1,0
účinnost v pracovním bodě	95,7%
napětí	400 V
frekvence	50 Hz

2.4.2 Motor

K pohonu jednotky je použit plynový spalovací motor T6 210 G5V TW 86, výrobek firmy TEDOM.

Tab. B 2 - 8 Parametry motoru [12]

počet válců	6 v řadě
zdvihový objem	11 946 m ³
otáčky	1 500 min ⁻¹
spotřeba oleje normál/max	0,3 / 0,5 g/kWh
maximální výkon motoru	217 kW



Obr. B 2 - 2: Spalovací motor jednotky TEDOM Cento T200 [12]

2.4.3 Tepelný systém

Tepelný systém KGJ je z hlediska tepelného výkonu rozdělen dvěma nezávislými okruhy, sekundárním a technologickým. Tepelný systém obsahuje ještě tzv. primární okruh, který tvoří vodní plášť motoru. Maximální tepelný výkon jednotky je součtem tepelných výkonů sekundárního a technologického okruhu při jejich plném využití.

Primární okruh

Představuje vnitřní uzavřený tlakový okruh, který odebírá teplo z vodního pláště motoru, 1. sekce mezichladiče a spalínového výměníku a předává ho do sekundárního okruhu.

Tab. B 2 - 9 Parametry primárního okruhu [12]

teplonosná látka	voda + etylenglykol
koncentrace etylenglykolu	35 %
tepelný výkon okruhu	237 kW
maximální pracovní tlak	300 kPa
vodní objem okruhu	146 litrů

Sekundární okruh

Představuje okruh, kterým je zajištěno vyvedení hlavního tepelného výkonu jednotky (získaného chlazením spalovacího motoru a spalin) do topného systému. Standardně okruh pracuje s teplotami vratné vody od 40 do 70°C. Dodržení této podmínky je bezpodmínečně nutné pro bezporuchový chod jednotky. Tento okruh je nutno vybavit oběhovým čerpadlem.

Tab. B 2 - 10 Parametry sekundárního okruhu [12]

teplonosná látka	voda
tepelný výkon okruhu	237 kW
jmenovitá teplota vstup/výstup	70/90°C
teplota vratné vody min./max.	40/70°C
maximální pracovní tlak	600 kPa
vodní objem okruhu	13 litrů

Tab. B 2 - 11 Parametry spalin [12]

teplota spalin	529°C
tepelný výkon spalin (vychlazení na 120°C)	237 kW

Technologický okruh

Představuje okruh chlazení plnicí směsí (směs zemního plynu se vzduchem). Úroveň využití tepelného výkonu z tohoto okruhu a jeho vychlazení bezprostředně ovlivňuje dosažení základních technických parametrů. Okruh pracuje s teplotami vratné vody od 35 do 70°C. V závislosti na těchto teplotách se mění účinnost. Tento okruh je již vybaven oběhovým čerpadlem.

Tab. B 2 - 12 Parametry technologického okruhu [12]

teplonosná látka	voda + etylenglykol
koncentrace etylenglykolu	35 %
tepelný výkon okruhu	16 kW
teplota chladicí kapaliny min./max.	35 / 55°C
maximální pracovní tlak	300 kPa
vodní objem okruhu	15litrů

Tepelný výkon technologického okruhu lze využít v nízkoteplotních okruzích (přehřev TV, ohřev vody v bazénech či jiných technologiích). Není-li možné toto teplo při požadavku na dosažení trvalého jmenovitého výkonu využít, je nutné jej mařit ve vnější chladicí jednotce (výměník vzduch – voda)

Topná voda pro náplň hydraulických okruhů musí být upravená a odpovídat požadavkům výrobce jednotky.

2.4.4 Palivo, přívod plynu

Plynová trasa jednotky je sestavena v souladu s TPG 811 01 a obsahuje sestavu dvou nezávislých rychlouzavíracích elektromagnetických ventilů pro uzavření přívodu plynu při vypnutí jednotky, nulový regulátor tlaku plynu a kovovou hadici pro připojení ke směšovači se vzduchem. Pro správný provoz je požadována plynová přípojka o patřičné dimenzi s přiměřeným akumulacním objemem, aby nedošlo k poklesu tlaku plynu v rozvodu v době skokového odběru plynu. Plynová přípojka musí být zakončena ručním plynovým uzávěrem a tlakoměrem.

Technické vlastnosti jednotky jsou platné pro zemní plyn o těchto parametrech:

Tab. B 2 - 13 Parametry zemního plynu [12]

výhřevnost	34 MJ/m ³
min. metanové číslo	80
tlak plynu	2 - 10 kPa
maximální teplota	30°C

2.4.5 Spalovací a větrací vzduch

Nevyužité teplo (vysálané z horkých částí) je z KGJ odváděno nuceným větráním. Větrací vzduch vstupuje do KGJ otvory v rámu a vystupuje v čele protihlukového krytu vzduchotechnickým kolenem. Na větrací vzduch je možno napojit vzduchotechnické potrubí. Proudění větracího vzduchu zajišťuje ventilátor.

Tab. B 2 - 14 Parametry spalovacího a větracího vzduchu [12]

tepelný výkon větracího vzduchu	25 kW
množství spalovacího vzduchu	846 Nm ³ /h
množství větracího vzduchu	5 900 Nm ³ /h
teplota nasávaného vzduchu min./max.	10/35°C
max. teplota vzduchu na výstupu	50°C
max. protitlak na odvodu vzduchu	95 Pa

2.4.6 Odvod spalin a kondenzátu

Spaliny jsou vyvedeny z jednotky na výstupní přírubu, která je umístěna na střeše protihlukového krytu. Součástí dodávky KGJ je volně dodaný tlumič výfuku, který je určen k montáži do výstupního spalinovodu. Ten musí být od příruby po sopouch těsný. Spádování spalinovodu musí být směrem od jednotky, protože při startu jednotky nebo při nízké teplotě vstupní vody do KGJ vzniká ve spalinovodech kondenzát. Kondenzát je vhodné odvádět přes odváděč kondenzátu o výšce min. 20 cm do kanalizace. Materiál a tepelná izolace spalinovodu ve strojovně musí být odolná teplotám do 200°C.

Tab. B 2 - 15 Parametry spalin a spalinovodu [12]

množství spalin	900 Nm ³ /h
teplota spalin jmenovitá / max.	120 / 150°C
maximální protitlak spalin za přírubou	20 mbar
rychlost spalin na výstupu (DN 150)	20,4 m/s

2.4.7 Hlukové parametry

Hlukové parametry udávají úroveň akustického tlaku zvuku, měřenou ve volném zvukovém poli. Stanovení měřicích míst a způsob vyhodnocení odpovídá ČSN 09 0862.

Tab. B 2 - 16 Parametry hluku [12]

protihlukový kryt v 1 m	80 dB(A)
výstup ventilace protihlukového krytu v 1 m	89 dB(A)
vývod spalin v 1 m od příruby tlumiče	80 dB(A) bez přídavného tlumiče

2.4.8 Elektrické parametry

Tab. B 2 - 17 Elektrické parametry [12]

jmenovité napětí	230/400 V
jmenovitý kmitočet	50 Hz
účinník	0,8 L - 0,8 C
jmenovitý proud pro $\cos \varphi=0,8$	360 A
jistič generátoru	NSX400F 3P
zkratová odolnost rozvaděče	25 kA
krytí silové části rozvaděče ot./zavřeno	IP 31/00
krytí ovládací části rozvaděče ot./zavřeno	IP 31/00
doporučené nadřazení jištění	400 A
doporučený připojovací kabel (l<50m)	CYKY 3x240+120

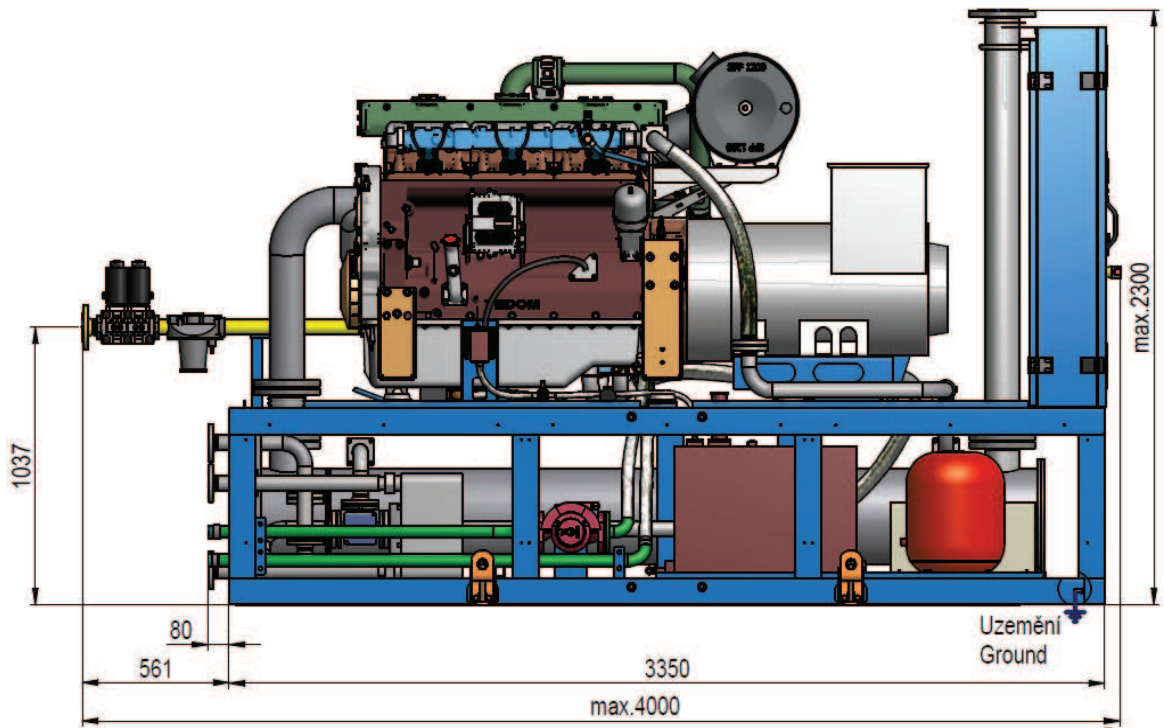
2.4.9 Řídicí systém

Pro ovládání KGJ je použit řídicí systém ProCon Sight, který zajišťuje plně automatický chod soustrojí. Jedná se o víceprocesorový modulární systém, sestávající z centrální části, zobrazovací jednotky a rozšiřujících modulů analogových a binárních vstupů a výstupů.

2.4.10 Rozměry a hmotnost jednotky

Tab. B 2 - 18 Rozměry a hmotnost jednotky [12]

délka přepravní/celková	3 700 / 4 390 mm
šířka	1 500 mm
celková výška	2 220 mm
přepravní hmotnost	4 350 kg
provozní hmotnost	4 890 kg



Obr. B 2 - 3: Rozměry jednotky TEDOM Cento T200 [12]

3. EKONOMIKA INSTALACE A PROVOZU KOGENERAČNÍ JEDNOTKY

Závěr této práce se týká ekonomické studie, ve které bude navržen optimální provoz zvolené kogenerační jednotky TEDOM Cento T200, shrnuty všechny náklady, výdaje, složení pořizovací ceny jednotky, struktura ceny elektrické energie a mnohé další informace. Tyto informace hrají klíčovou roli při zodpovězení otázky, zda-li se pořízení kogenerační jednotky vyplatí, nebo ne.

3.1 Ceny komodit

Podkladem pro finanční analýzu jsou skutečná naměřená data výchozího objektu. Vychází se také z aktuálních cen jednotlivých komodit (elektřina, pára, zemní plyn), dále jsou důležitým podkladem Cenová rozhodnutí Energetického regulačního úřadu, který stanovuje regulované ceny související s dodávkou elektřiny a plynu, a dále stanovuje výši podpory pro podporované zdroje energie.

3.1.1 Elektrická energie

Elektrická energie, jakožto položka, která má zásadní vliv na ekonomiku projektu je velmi složitá veličina, jejíž cena se skládá z několika položek. Cenu elektřiny lze rozdělit na 2 základní části a daně. Jedna část je neregulovaná a druhá regulovaná.

Jak je tvořena cena elektřiny:

- Neregulovaná část
 - Cena za silovou elektřinu a měsíční poplatky
- Regulovaná část
 - Poplatek za distribuci
 - Poplatek za systémové služby
 - Poplatek za služby operátora trhu
 - Příspěvek na obnovitelné zdroje energie
- Daně

Neregulovaná část je jednodušší na stanovení, navíc její výši lze měnit, jelikož tuto cenu si určují obchodníci s elektřinou. Neregulovaná část se tedy skládá z ceny za komoditu (silové elektřiny) a měsíčními poplatky, které si stanovuje obchodník.

Regulovanou cenu elektrické energie určuje Energetický regulační úřad ve svých Cenových rozhodnutích. Regulace se týká poplatku za distribuci elektrické energie, poplatku za systémové služby, příspěvku na obnovitelné zdroje energie a poplatku pro operátora trhu s elektřinou. A co v sobě jednotlivé regulované poplatky skrývají?

Poplatek za distribuci

V poplatku za distribuci elektrické energie je zahrnuta platba za údržbu, rozvoj, bezpečnost a kvalitu elektrické sítě, kterou vlastní distribuční společnost. Je to vlastně platba za „dráty“ nízkého napětí, transformátorových stanice a podobně. V rámci distribuce je dále zahrnuta platba buď za jistič dle jeho velikosti, nebo u větších odběratelů se platí za rezervovaný příkon. Konkurence v této oblasti nehrozí, protože území České republiky je rozděleno, ještě podle původního dělení na kraje, do 3 oblastí, kde působí buď ČEZ Distribuce, PRE Distribuce nebo E.ON Distribuce. Poplatky za distribuci jdou tedy na účet místní distribuční společnosti. [13]



Obr. B 3 - 1 Území ČR dle působení distribučních společností [13]

Poplatek za systémové služby

V ceně tohoto poplatku jsou zahrnuty platby za služby vysokého napětí. Ten platíme za údržbu sítě, zajištění přenosů na dálku a především na zachování bezpečnosti sítě a ochranu před tzv. blackouty (hromadný výpadek elektrické energie) nebo aby nedocházelo k přeshraničním tokům energie. Tento poplatek je hrazen státní společností ČEPS a.s. [13]

Poplatek za služby operátora trhu

Tento poplatek lze najít také pod označení poplatek za činnosti zúčtování OTE. Služby operátora trhu zahrnují vyhodnocování odchylek mezi skutečnými a sjednanými dodávkami elektřiny na celém území České republiky. Dále zpracovává a zveřejňuje měsíční a roční zprávy o trhu s elektřinou. OTE je také správcem národního rejstříku emisí skleníkových plynů a má na starosti administraci systému pro vyplácení podpory podporovaných zdrojů energie. Tento poplatek jde tedy na účet OTE, a.s. [13]

Poplatek na podporované zdroje energie

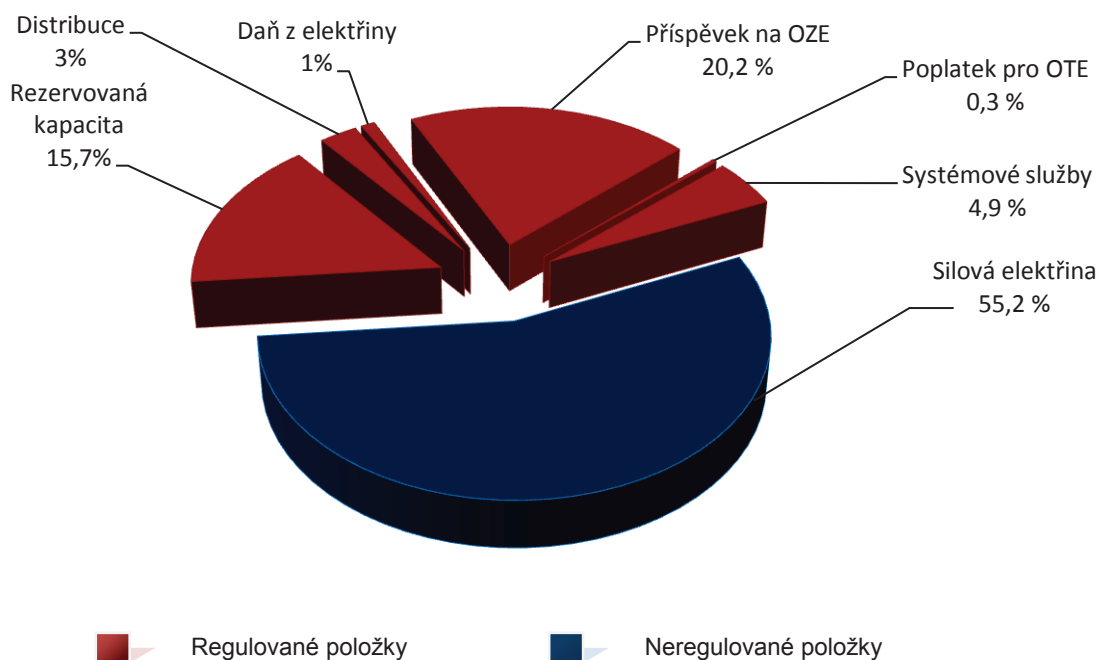
Poslední z regulovaných poplatků se týká nejen poplatku na obnovitelné zdroje (OZE), ale také na kombinovanou výrobu elektřiny a tepla z druhotných zdrojů. Vybrané poplatky jsou přerozděleny provozovatelům podporovaných zdrojů na základě skutečného množství vyrobené energie, nejčastěji ve formě výkupních cen (nebo zelených bonusů), které jsou stanoveny každému zdroji individuálně. [13]

Daně za elektrickou energii

Elektřina jako samotná komodita je zdaněna aktuální výší daně z přidané hodnoty (DPH), a dále pak daní ekologickou, tzv. daní z elektřiny. Daň z elektřiny je odváděna Celní správě. Možností jak daň z elektřiny neplatit, je v případě, že elektřina je odebírána v rámci tzv. zeleného bonusu, kde elektrická energie je vyráběna výhradně z obnovitelných zdrojů energie. [13]

Výsledná cena elektrické energie je tedy součtem regulovaných a neregulovaných položek vynásobené daní. Procentuální zastoupení jednotlivých položek znázorňuje následující graf.

Graf B 3 - 1 Skladba ceny elektrické energie [15]



Výchozí podklady pro ekonomickou kalkulaci, z hlediska poplatků za elektrickou energii, jsou uvedeny v tabulce B 3 – 1.

Tab. B 3 - 1 Skladba ceny elektrické energie [15]

Položka	Cena v Kč / MWh bez DPH
silová elektřina	1 395,29
systémové služby*	119,25
poplatky OTE	7,55
poplatky na OZE	495
rezervovaná roční kapacita VN	114 384 Kč / rezervovanou MW
použití sítí VN	66,37

* výrobce elektřiny může provozovateli soustavy účtovat tzv. vratku ve výši 74,46 Kč/MWh, výsledný poplatek za systémové služby bude tedy $119,25 - 74,46 = 44,79$ Kč/MWh.

3.1.2 Tepelná energie

Řešený objekt je v současné době vytápěn pomocí předávací stanice páry. Předávací stanice je dimenzovaná na 1 500 kW. Regulace předávací stanice je řešena tzv. zaplavováním výměníku. To znamená, že škrcením odvodu kondenzátu zvyšujeme jeho výšku ve výměníku a tím snižujeme teplosměnnou plochu, kde pára může předávat teplo a kondenzovat. Oproti druhé možnosti regulace předávací stanice páry, kdy je výkon regulován škrcením přívodu páry má regulace zaplavováním tu výhodu, že nesnížený tlak páry je možno využít pro odvod kondenzátu.

Předávací stanice páry je zásobována teplárenským zdrojem soustavy zásobování tepelnou energií a zde vyrobené teplo je parním potrubím dopraveno k předávací stanici páry.

Pro ekonomickou kalkulaci lze počítat s cenou 1 650 Kč/MWh tepla. Tato cena, stejně jako všechny ostatní je uvedena bez DPH.

3.1.3 Zemní plyn

Kogenerační jednotka je osazena spalovacím motorem zemního plynu. Proto je pro kalkulaci důležitá i cena zemního plynu. Cena zemního plynu se stejně jako elektrická energie skládá z položky regulované a neregulované. V regulované složce platby je zahrnuta cena za přepravu a distribuci plynu. V neregulované složce platba, kterou lze ovlivnit volbou obchodníka s plynem, je zahrnuta cena za uskladnění plynu v zásobnících a platba za samotný zemní plyn.

Tab. B 3 - 2 Skladba ceny zemního plynu [11]

Položka	Cena v Kč / MWh bez DPH
regulovaná složka	188,8
neregulovaná složka	811,2

3.2 Náklady na pořízení kogenerační jednotky

Náklady na pořízení kogenerační jednotky lze rozdělit na cenu za jednotku plus související technologie a dále pak na cenu související s projekční činností. Tyto ceny, které se určují převážně procentuálně byly odhadnuty za přispění odborníků z praxe.

3.2.1 Pořizovací cena

Dle dodavatele jednotky CENTO T200 lze tuto jednotku pořídit za 3 300 000 Kč.

3.2.2 Ostatní technologie

Do této kategorie patří cena za výměníky tepla, spalínovody, odvaděče kondenzátu apod. Cenu lze určit odhadem a její obvyklá výše činí 70% z ceny kogenerační jednotky. Cena za ostatní technologie tedy činí 2 310 000 Kč.

3.2.3 Stavební úpravy

Zde spadají všechny náklady spojené se stavebními úpravami objektu, včetně výstavby nového komínu. Předpokládaná výše investice je v závislosti na složitosti stávajících prostor odhadnuta na 1 200 000 Kč.

3.2.4 Projekční činnost

Cena za projektovou dokumentaci je odhadnuta na 12% z celkové ceny z položek uvedených výše. Cena za projekt činí 817 200 Kč.

Tab. B 3 - 3 Shrnutí pořizovacích nákladů

Položka	Cena v Kč bez DPH
pořizovací cena	3 300 000
ostatní technologie	2 310 000
stavební úpravy	1 200 000
projekční činnost	817 200
celkové pořizovací náklady	7 627 200

3.3 Provozní a ostatní náklady kogenerační jednotky

Rozpis nákladů, které je zapotřebí investovat v průběhu životnosti kogenerační jednotky je uveden v následujících kapitolách. Jsou zde také zahrnuty náklady spojené s financováním jednotky a jejího pojištění.

3.3.1 Údržba kogenerační jednotky

Pod pojmem údržba si lze představit veškeré servisní náklady na provoz jednotky, generální opravy ale také opravy standardního charakteru vyskytující se náhodně. Náklady na údržbu se počítají v závislosti na množství vyrobené elektrické energie. Reálná cena se pohybuje okolo 350 Kč na vyrobenou megawatthodinu elektrické energie. Cena za údržbu jednotky tedy činí 383 250 Kč/rok.

3.3.2 Údržba ostatní technologie

Cena za údržbu ostatní technologie se pohybuje nejčastěji okolo hodnoty 3,5 % z ceny pořizovacích nákladů na tyto technologie. Cena za údržbu ostatní technologie činí 80 850 Kč/rok.

3.3.3 Údržba stavební části

Lze předpokládat minimální náklady na tuto položku, proto je její hodnota stanovena na 1% z celkových nákladů na provedené stavební úpravy. Cena za údržbu stavební části činí 12 000 Kč/rok.

3.3.4 Splátky úroků

Předpokládá se, že jednotka bude pořízena na základě bankovního úvěru. Pro výpočet splátky tohoto úvěru se počítá se 6% úrokovou sazbou a výše úroku odpovídá celkovým pořizovacím nákladům. Výše splátky úroků činí dle vstupních údajů 95 077 Kč/rok.

3.3.5 Pojištění

Pojištění kogenerační jednotky zahrnuje krytí rizik při živelných pohromách. Pojištění by dále mohlo pokrývat například krytí rizik při poruše strojní nebo elektronické části, včetně řídicích částí. S nadstavbovým pojištěním ovšem není počítáno. Základní pojištění jednotky činí 7 627 Kč/rok.

3.3.6 Výrobní režie

Do této kategorie jsou zahrnuty všechny platby za obsluhu jednotky. Jsou zde náklady na mzdy obsluhy, poplatky za cejchování měřidel, za znečištění ovzduší apod. Cena za tyto činnosti je odhadnuta na 50 000 Kč/rok.

3.3.7 Platby z výroby elektrické energie

I když si vyrobenou elektrickou energii sami vyrobíme a sami spotřebujeme v místě výroby elektrické energie, neznamená to, že za ni nemusíme platit. Nemusíme platit pouze za silovou elektřinu, jako za komoditu, a také za distribuční služby ale musíme platit za služby s ní spojené.

Výše těchto poplatků je stanovena Energetickým regulačním úřadem a vztahuje se na každou vyrobenou megawatt hodinu elektrické energie ve výrobě.

Platbami souvisejícími s výrobou elektrické energie jsou:

a) platba za systémové služby, jejíž výše jde dle Cenového rozhodnutí 119,25 Kč/MWh, přičemž výrobce elektrické energie může provozovateli soustavy účtovat tzv. vratku ve výši 74,46 Kč/MWh. Výsledná cena tedy činí $119,25 - 74,46 = 44,79$ Kč/MWh,

b) platba za činnosti operátora trhu, jejíž výše je stanovena na 7,55 Kč/MWh,

c) příspěvek na obnovitelné zdroje energie, který je stanoven na 495 Kč/MWh

Tab. B 3 - 4 Shrnutí provozních nákladů

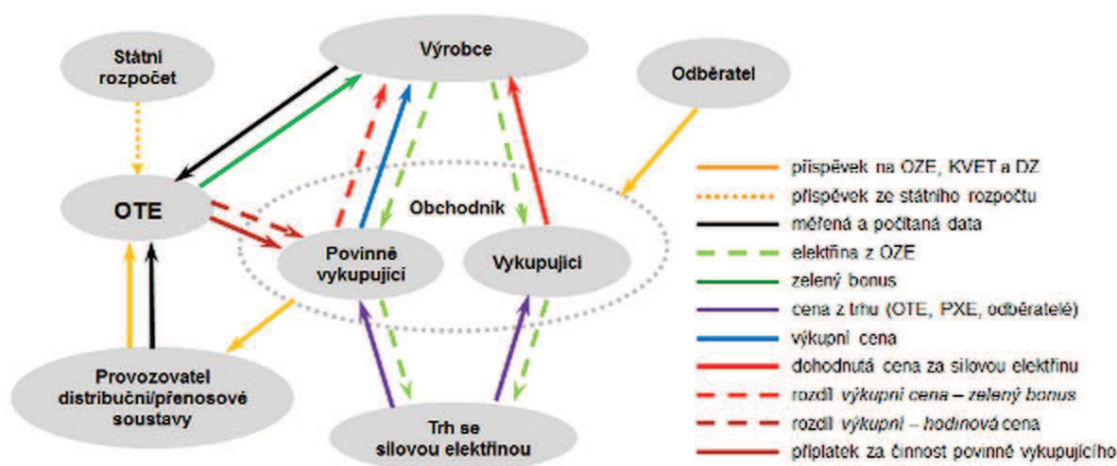
Položka	Cena v Kč/rok bez DPH
údržba kogenerační jednotky	383 250
údržba ostatní technologie	80 850
údržba stavební části	12 000
splátky úroků	95 077
pojištění	7 627
výrobní režie	50 000
platba za systémové služby	49 018
platba za OTE	8 263
příspěvek na OZE	541 728
celkové provozní náklady	1 227 813

3.4 Výše podpory za KVET a výkupní cena elektrické energie

Podpora pro výrobní KVET se dělí na dvě části. Výrobce elektrické energie může pobírat podporu v podobě zelených bonusů, které hradí OTE a.s. a dále pak může čerpat podporu v podobě výkupních cen, které si sjedná s vykupujícím nebo s povinně vykupujícím.

Rozdíl mezi vykupujícím a povinně vykupujícím je ten, že pokud se výrobce nedohodne s obchodníkem s elektřinou na ceně za silovou elektřinu na základě dvoustranné smlouvy, může být pro výrobce elektrické energie výhodnější nabídnout tuto elektřinu povinně vykupujícímu, kterého určí Ministerstvo průmyslu a obchodu, a který je povinen uhradit výrobcí rozdíl mezi výkupní cenou a zeleným bonusem. [17]

Systém podpory výplat pro výrobce elektrické energie popisuje následující diagram.



Obr. B 3 - 2 Finanční toky výplaty podpory výroby elektrické energie [17]

3.4.1 Výše podpory za KVET

Výše podpory za výrobu elektrické energie se skládá ze základní sazby ročního zeleného bonusu a doplňkové sazby I dle paliva, které výroba spaluje.

Pro určení základní sazby ročního zeleného bonusu na elektřinu pro výrobu KVET je zapotřebí ji nejprve zařadit do správné kategorie. Pro navrženou jednotku platí cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 4/2013 ze dne 27. listopadu 2013, kterým se stanovuje podpora pro podporované zdroje energie. Dle tohoto Cenového rozhodnutí spadá navržená jednotka do kategorie výroby KVET s instalovaným výkonem do 5MW (včetně).

Tab. B 3 - 5 Základní sazba ročního zeleného bonusu [16]

Druh podporovaného zdroje	Instalovaný výkon výroby [kW]		Provozní hodiny [h/rok]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
	od	do (včetně)		
Kombinovaná výroba elektřiny a tepla s výjimkou výroben uplatňujících podporu podle bodu (1) a/nebo (2.1.) cenového rozhodnutí a s výjimkou spalování komunálního odpadu	0	200	3000	1610
	0	200	4400	1150
	0	200	8400	220
	200	1000	3000	1150
	200	1000	4400	750
	200	1000	8400	140
	1000	5000	3000	800
	1000	5000	4400	470
1000	5000	8400	45	

Dle Tab. B 3 - 5 činí roční sazba zeleného bonusu 1 150 Kč/MWh.

Doplňková sazba za palivo, které jednotka spaluje, se určí z tabulky B 3 – 6.

Tab. B 3 - 6 Doplnková sazba I k základní sazbě [16]

Druh podporovaného zdroje	Datum uvedení do provozu		Instalovaný výkon výrobný [kW]		Kategorie biomasy a proces využití	Zelené bonusy [Kč/MWh]
	od (včetně)	do (včetně)	od	do (včetně)		
Výrobná elektřiny spalující čistou biomasu	1.1.2013	31.12.2013	0	5000	O	100
	1.1.2014	31.12.2014	0	5000	O	455
Výrobná elektřiny spalující (samostatně) plyn ze zplyňování pevné biomasy	1.1.2013	31.12.2013	0	2500	O	455
	1.1.2014	31.12.2014	0	2500	O	755
Výrobná elektřiny spalující bioplyn v bioplynové stanici	1.1.2013	31.12.2013	0	2500	AF	455
Nová výrobná elektřiny spalující bioplyn v bioplynové stanici splňující podmínku bodu (3.5.2.)	1.1.2014	31.12.2014	0	550	AF	900
Výrobná elektřiny spalující důlní nebo degazační plyn	1.1.2013	31.12.2014	0	5000	-	455
Výroba elektřiny spalováním komunálního odpadu nebo společným spalováním komunálního odpadu s různými zdroji energie	-	31.12.2012	0	5000	-	155
Výrobná elektřiny spalující (samostatně) zemní plyn	-	31.12.2014	0	5000	-	455

Dle Tab. B 3 - 6 činí doplňková sazba I 455 Kč/MWh

Výsledná výše podpory za KVET se vypočte dle vztahu:

$$C_{zb} = E_{kvet} \cdot (ZB_{zakl.sazba} + ZB_{doptn.I})$$

$$C_{zb} = 0,2 \cdot 4\,400 \cdot (1\,150 + 455)$$

$$C_{zb} = 1\,412\,400 \text{ Kč/rok}$$

Kde:

C_{zb} celková výše podpory KVET

E_{kvet} množství elektřiny vyrobené v KVET

$ZB_{zakl.sazba}$ základní sazba zeleného bonusu

$ZB_{doptn.I}$ doplňková sazba I k základní sazbě zeleného bonusu

3.4.2 Výkupní cena elektrické energie

Pro stanovení výkupní ceny elektrické energie je třeba znát, v jakém režimu bude jednotka provozována, jelikož výkupní cena je závislá na více faktorech (době výroby elektřiny, její množství atd.). Souhrn těchto faktorů potom udává výslednou dohodnutou výkupní cenou mezi výrobcem a vykupujícím.

Výše dohodnuté výkupní ceny mezi výrobcem a vykupujícím činí dle sdělení E.ON Energie a.s. 955 Kč/MWh.

Dle takto sjednané výkupní ceny lze celkový zisk z prodeje elektrické energie vypočítat:

$$Z_{prod} = E_{preb} \cdot DVC$$

$$Z_{prod} = 4,6 \cdot 955$$

$$Z_{prod} = 4\,393 \text{ Kč/rok}$$

Kde:

Z_{prod} Zisk z prodané elektrické energie

E_{preb} Množství přebytečné elektrické energie

DVC Dohodnutá výkupní cena silové elektřiny

3.5 Dosavadní platby

Dle provozovatele řešeného objektu se roční platby za elektrickou energii a energii tepelnou ve formě páry, přepočtené na měrnou jednotku, pohybovaly dle hodnot uvedených v Tab. B 3 - 7. Tyto hodnoty byly převzaty z faktur za rok 2012.

Tab. B 3 - 7 Výše dosavadních plateb za měrnou jednotku [11]

Druh energie	Platba [Kč/kWh]
Elektrická energie	2,43
Tepelná energie	1,65

3.6 Návratnost investice

Pro výpočet doby návratnosti této investice bude použita metoda prosté návratnosti.

Tab. B 3 - 8 Souhrn vstupních hodnot

SOUHRN VSTUPNÍCH HODNOT	
Pořizovací náklady na kogenerační jednotku	
Položka	Cena v Kč bez DPH
pořizovací cena	3 300 000
ostatní technologie	2 310 000
stavební úpravy	1 200 000
projekční činnost	817 200
celkové pořizovací náklady	7 627 200
Provozní náklady a platby z výroby elektřiny	
Položka	Cena v Kč/rok bez DPH
údržba kogenerační jednotky	383 250
údržba ostatní technologie	80 850
údržba stavební části	12 000
splátky úroků	95 077
pojištění	7 627
výrobní režie	50 000
platba za OZE	541 728
platba za SYS	49 018
platba OTE	8 263
celkové provozní náklady	1 227 813
Zisk z výroby a prodeje elektrické energie	
Položka	Cena v Kč/rok bez DPH
zelený bonus	1 412 400
prodej elektřiny	4 393
celkový zisk	1 416 793

Původní náklady na nákup energií	
Položka	Cena v Kč/rok bez DPH
elektrická energie	5 956 173
tepelná energie	4 471 050
celkové současné náklady	10 427 223
Budoucí náklady na nákup energií	
Položka	Cena v Kč/rok bez DPH
elektrická energie	3 295 080
tepelná energie	2 186 250
zemní plyn	3 664 051
celkové budoucí náklady	9 145 381

3.6.1 Výpočet prosté návratnosti

Výpočet prosté návratnosti je založen na porovnání současných nákladů na vytápění a dodávku elektrické energie s náklady na dodávku těchto energií ve spolupráci s kogenerační jednotkou, která tyto energie vyrábí ze zemního plynu.

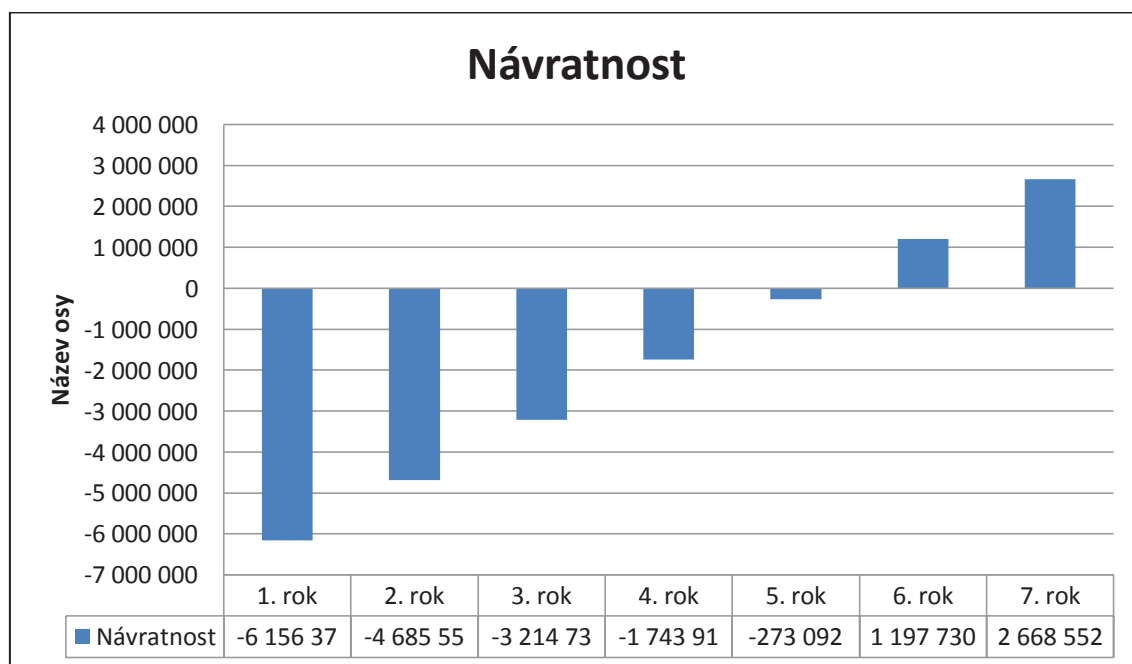
Dle níže uvedené tabulky je patrné, že ze současných plateb za energie ve výši 10 427 223 Kč se náklady na nákup těchto energií sníží na 9 145 381 Kč. K těmto nákladům je třeba ještě připočítat náklady na provoz kogenerační jednotky, které jsou ve výši 1 227 813 Kč. Podstatnou položkou v celkové bilanci je bonifikace vyrobené elektrické energie. Ta činí 1 416 793 Kč. Pokud by stát nepodporoval elektřinu vyrobenou v kogeneračních jednotkách a tato položka by byla nulová, návratnost investice by byla okolo 140 let. **Díky podpoře jsou budoucí náklady oproti současným nižší o 1 470 822 Kč.**

Pokud tedy porovnáme výši investičních nákladů na pořízení kogenerační jednotky a roční úsporu za nákup energií, vychází návratnost na 5,2 let.

Tab. B 3 - 9 Výpočet prosté návratnosti

PROSTÁ NÁVRATNOST	
Položka	Cena v Kč bez DPH
investiční náklady	7 627 200
současné roční náklady na nákup energií	10 427 223
budoucí roční náklady na nákup energií	9 145 381
budoucí provozní náklady	1 227 813
budoucí zisk z výroby elektrické energie	1 416 793
rozdíl	1 470 822
prostá návratnost	5,2 let

Graf B 3 - 2 Návratnost investice



3.6.2 Návrhovatelnosti zbývajících porovnávaných jednotek

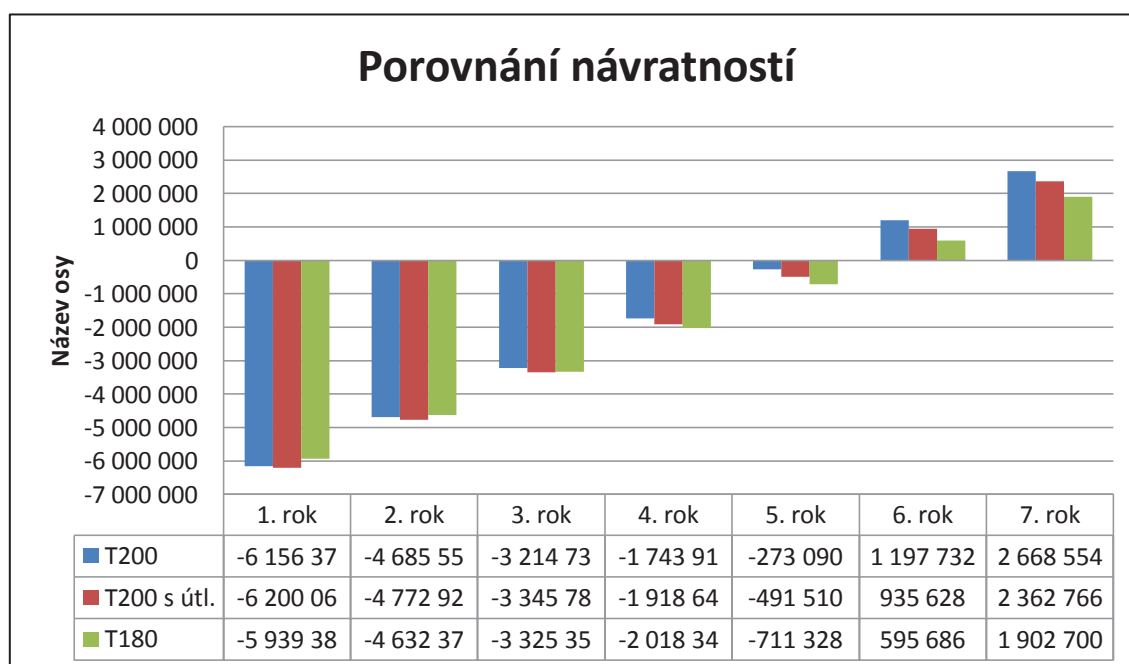
Pro srovnání a potvrzení, že vybraná jednotka dosahuje opravdu nejlepších parametrů jak technických, tak také ekonomických, je přiložena následující tabulka, která je vypočtena stejnou metodou jako jednotka Cento T200.

Tab. B 3 - 10 Srovnání návratností všech vybraných jednotek

Jednotka	Cento T200	Cento T200 s útlumem	Cento T180
Položka	Cena v Kč bez DPH		
investiční náklady	7 627 200	7 627 200	7 246 400
celkové současné roční náklady	10 427 223	10 427 223	10 427 223
celkové budoucí roční náklady	9 145 381	9 46 260	9 238 456
provozní náklady	1 227 813	1 166 225	1 152 913
zisk z prodeje elektrické energie	1 416 793	1 412 400	1 271 160
rozdíl	1 470 822	1 427 138	1 307 014
prostá návratnost	5,2 let	5,3 let	5,5 let

Z tabulky B 3 - 10 je patrné, že zvolená jednotka opravdu dosahuje nejlepší návratnosti v porovnání s ostatními jednotkami.

Graf B 3 - 3 Porovnání návratností



4. ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout vhodnou kogenerační jednotku do dané budovy ubytovacího charakteru.

Dle poskytnutých podkladů a navazujících výpočtů byly provedeny optimalizace jak samotných vybraných kogeneračních jednotek, tak i různé provozní režimy vybrané jednotky. To vše vedlo k závěrečné volbě jednotky Cento T200 společnosti TEDOM a.s. Jedná se o jednotku spalující zemní plyn s elektrickým výkonem 200 kW a tepelným výkonem 253 kW. Jednotka bude v provozu 24 hodin denně po dobu 228 dní. Návrh této investice byla vypočtena na 5,2 let, což pro provozovatele nemovitosti může být výsledek, který povede k zamyšlení se nad tím, jaké výhody mu přinese pořízení této jednotky.

Takto dobrá doba návratnosti je ale zapříčiněna státní podporou pro elektřinu vyrobenou v kogeneračních jednotkách. Bez této podpory, o které se každoročně mluví a její výše se mění dle cenových rozhodnutí ERÚ, by se doba návratnosti pohybovala okolo 140 let. Z tohoto pohledu je patrné, jak důležitá je tato státní podpora pro provozovatele kogeneračních jednotek.

Tato práce byla sepsána pod dohledem mnoha odborníků z praxe, kteří se četnými poznámkami a připomínkami vyjadřovali k dílčím částem diplomové práce. Bez jejich pomoci by tato práce nedosahovala takových rozměrů, jelikož náročnost tohoto tématu je velmi široká.

Postupy aplikované v této práci by měly sloužit jako „kuchařka“ pro návrh kogenerační jednotky. Tyto postupy lze s jistými modifikacemi uplatnit jak pro rodinné domy, tak i pro širokou škálu administrativních budov, hotelů, rekreačních zařízení a dalších objektů s vyšší spotřebou elektrické energie a tepla.

C. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

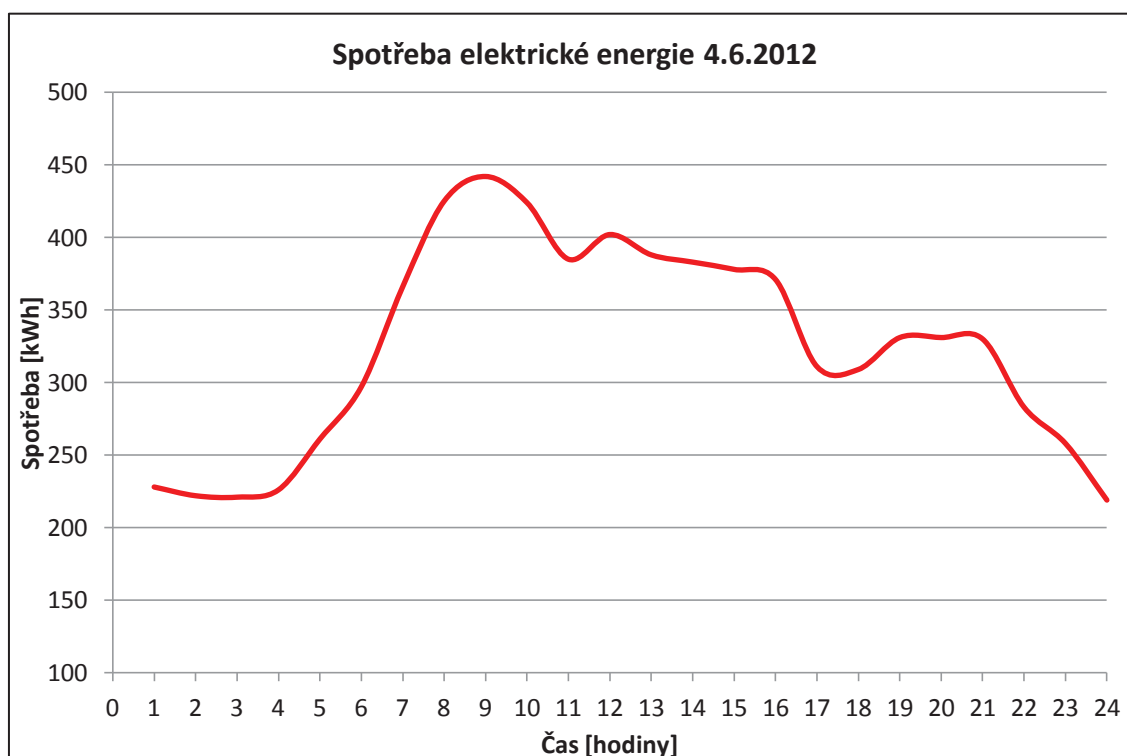
V rámci experimentální části této diplomové práce byly zpracovány údaje z denních měření spotřeb elektrické energie. Tato data slouží také jako výchozí podklad pro návrh kogenerační jednotky, řešené v praktické části.

Měření spotřeby elektrické energie je zaznamenáváno ve čtvrt hodinových intervalech a následně je proveden jejich součet. Tím je dána hodinová spotřeba elektrické energie.

Následující tabulky a grafy jsou náhodným výběrem z dat půlročního automatického zaznamenávání spotřeb elektrické energie. Výběr dat byl proveden z období od měsíce června 2012 do listopadu 2012. Pro experimentální část je vybrán obvykle jeden den v týdnu a pro něj je zpracován denní průběh spotřeb.

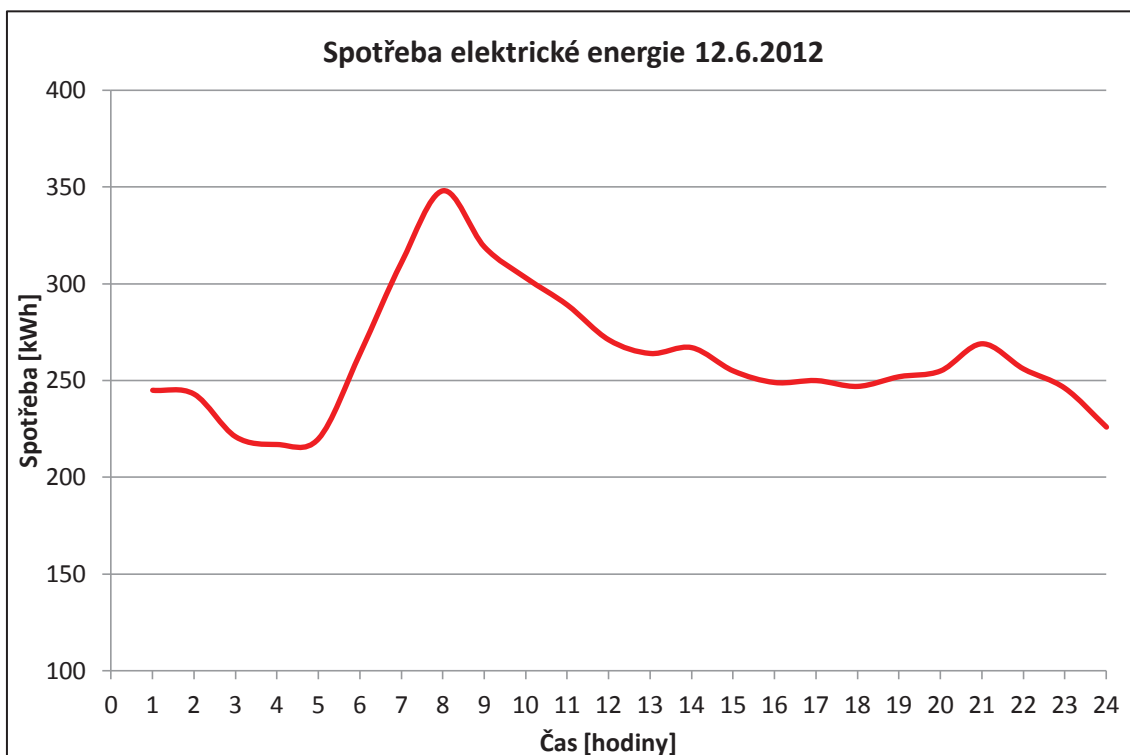
Hlavní měření spotřeby elektrické energie - 4.6.2012 0:00 - 5.6.2012 0:00

Hodina	1/4	2/4	3/4	4/4	Celkem
0-1	236	220	236	220	228
1-2	236	212	224	216	222
2-3	236	212	224	212	221
3-4	236	228	232	208	226
4-5	224	260	284	276	261
5-6	272	300	296	320	297
6-7	324	336	396	408	366
7-8	424	460	400	416	425
8-9	472	440	416	440	442
9-10	436	440	416	404	424
10-11	384	380	380	396	385
11-12	384	412	416	396	402
12-13	384	404	396	368	388
13-14	384	392	376	380	383
14-15	368	384	384	376	378
15-16	376	364	368	376	371
16-17	332	320	308	284	311
17-18	304	272	312	348	309
18-19	312	320	352	340	331
19-20	316	360	312	336	331
20-21	332	324	364	300	330
21-22	288	296	272	276	283
22-23	256	260	252	264	258
23-0	228	208	224	216	219
Celkem					7791 kWh
Čth. max.	(8:15)				472 kW



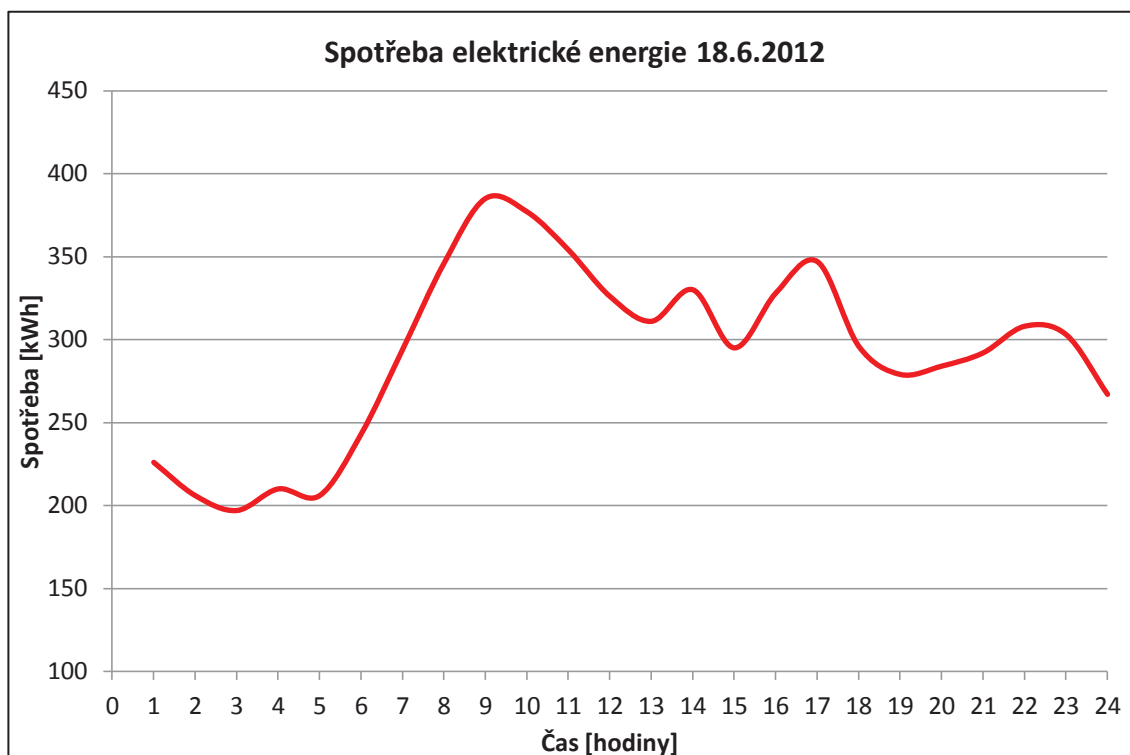
Hlavní měření spotřeby elektrické energie - 12.6.2012 0:00 - 13.6.2012 0:00

Hodina	1/4	2/4	3/4	4/4	Celkem
0-1	252	260	240	228	245
1-2	232	244	240	256	243
2-3	240	220	208	216	221
3-4	220	220	220	208	217
4-5	216	232	228	204	220
5-6	232	252	292	280	264
6-7	280	336	316	312	311
7-8	364	356	332	340	348
8-9	316	31	328	328	319
9-10	328	304	284	296	303
10-11	292	272	292	300	289
11-12	272	280	256	276	271
12-13	260	256	280	260	264
13-14	268	260	280	260	267
14-15	240	268	264	248	255
15-16	256	252	248	240	249
16-17	260	260	240	240	250
17-18	252	256	228	252	247
18-19	248	244	248	268	252
19-20	244	268	256	252	255
20-21	256	256	284	280	269
21-22	260	264	252	248	256
22-23	268	236	240	240	246
23-0	224	224	228	228	226
Celkem					6287 kWh
Čth. max.	(7:15)				364 kW



Hlavní měření spotřeby elektrické energie - 18.6.2012 0:00 - 19.6.2012 0:00

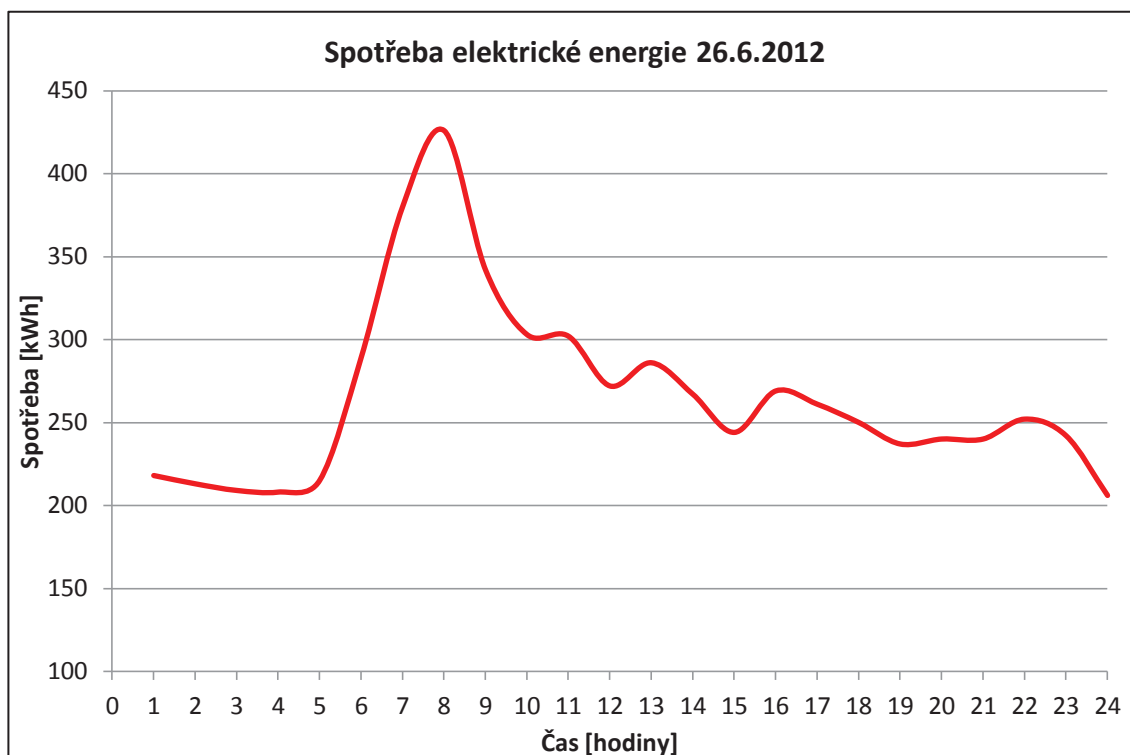
Hodina	1/4	2/4	3/4	4/4	Celkem
0-1	232	220	220	232	226
1-2	208	200	200	216	206
2-3	196	192	200	200	197
3-4	212	208	212	208	210
4-5	200	212	208	204	206
5-6	208	228	268	268	243
6-7	284	272	320	300	294
7- 8	296	356	348	384	346
8- 9	404	376	376	384	385
9-10	384	392	368	364	377
10-11	348	360	360	348	354
11-12	316	328	336	324	326
12-13	320	304	312	308	311
13-14	340	356	296	328	330
14-15	296	284	264	336	295
15-16	336	352	320	304	328
16-17	348	355	356	328	347
17-18	308	284	296	296	296
18-19	276	276	276	288	279
19-20	288	276	284	288	284
20-21	276	288	288	316	292
21-22	308	308	308	308	308
22-23	336	296	292	288	303
23-0	280	288	268	232	267
Celkem					7010 kWh
Čth. max.	(8:15)				404 kW



Kombinovaná výroba tepla a elektrické energie
C. Experimentální část

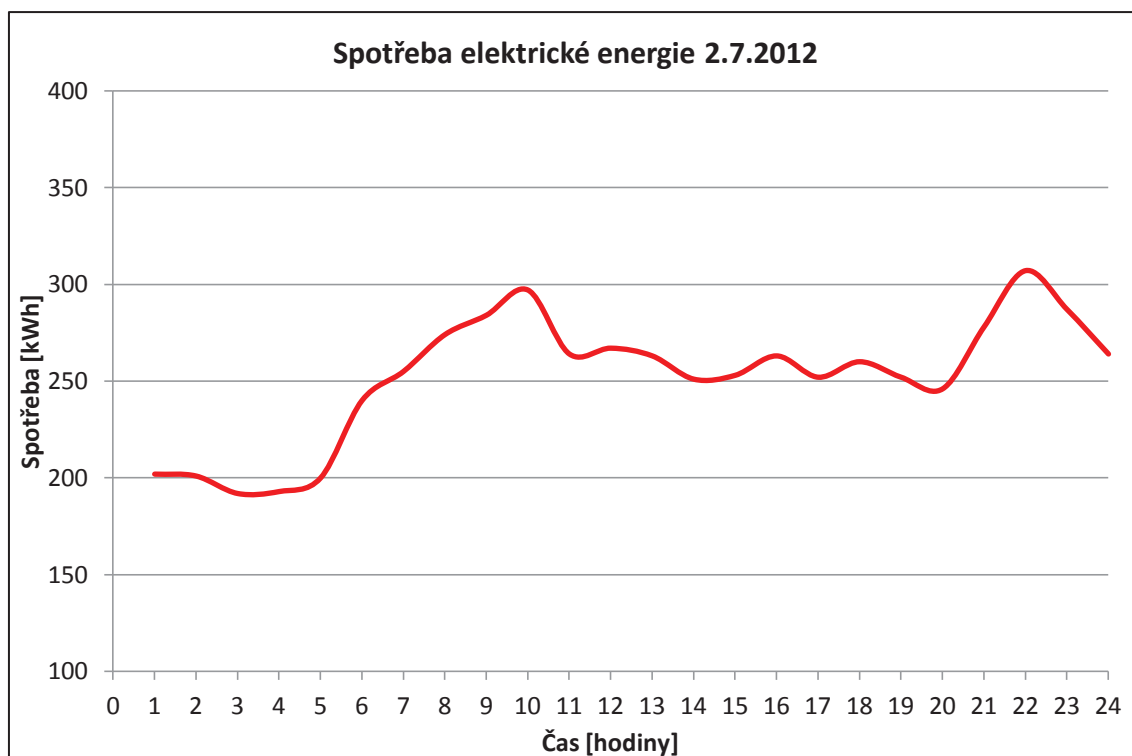
Hlavní měření spotřeby elektrické energie - 26.6.2012 0:00 - 27.6.2012 0:00

Hodina	1/4	2/4	3/4	4/4	Celkem
0- 1	224	220	212	216	218
1-2	220	208	220	204	213
2-3	212	208	200	216	209
3-4	208	216	208	200	208
4-5	216	204	224	216	215
5-6	264	280	292	320	289
6-7	320	372	404	424	380
7-8	424	416	436	428	426
8-9	392	340	316	320	342
9-10	336	284	300	292	303
10-11	280	296	308	324	302
11-12	280	272	264	272	272
12-13	284	256	296	308	286
13-14	296	276	268	228	267
14-15	240	220	248	268	244
15-16	264	260	308	244	269
16-17	248	272	264	260	261
17-18	264	252	236	248	250
18-19	228	232	244	244	237
19-20	256	236	236	232	240
20-21	236	232	236	256	240
21-22	240	248	268	252	252
22-23	256	248	244	220	242
23-0	224	204	204	192	206
Celkem					6371 kWh
Čth. max.	(7:45)				436 kW



Hlavní měření spotřeby elektrické energie - 2.7.2012 0:00 - 3.7.2012 0:00

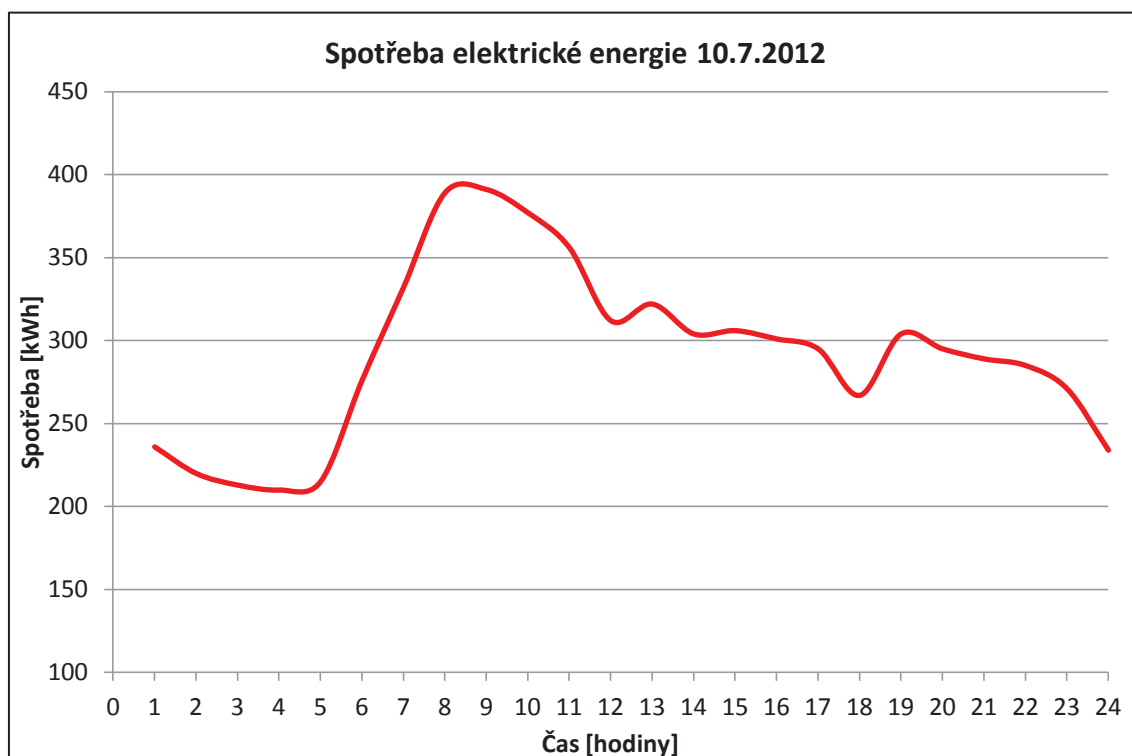
Hodina	1/4	2/4	3/4	4/4	Celkem
0- 1	216	188	224	180	202
1-2	204	184	208	208	201
2-3	184	200	180	204	192
3-4	192	200	180	200	193
4-5	180	232	188	200	200
5-6	216	232	264	248	240
6-7	268	240	268	244	255
7-8	268	260	292	276	274
8-9	296	276	296	268	284
9-10	316	264	300	308	297
10-11	256	288	244	268	264
11-12	216	292	264	296	267
12-13	248	288	252	264	263
13-14	276	236	252	240	251
14-15	240	248	244	280	253
15-16	248	272	256	276	263
16-17	252	260	240	256	252
17-18	268	276	232	264	260
18-19	256	232	260	260	252
19-20	240	236	228	280	246
20-21	292	260	284	276	278
21-22	304	288	344	292	307
22-23	292	288	284	284	287
23-0	292	256	272	236	264
Celkem					6045 kWh
Čth. max.	(21:45)				344 kW



Kombinovaná výroba tepla a elektrické energie
C. Experimentální část

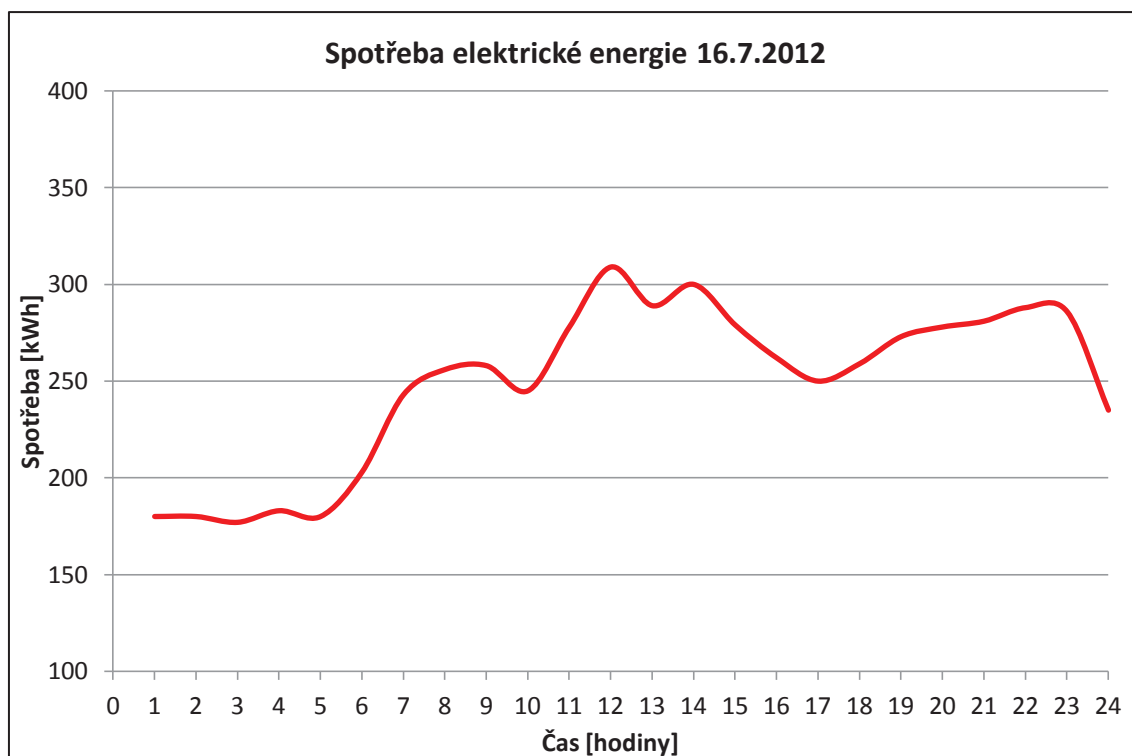
Hlavní měření spotřeby elektrické energie - 10.7.2012 0:00 - 11.7.2012 0:00

Hodina	1/4	2/4	3/4	4/4	Celkem
0-1	236	228	248	232	236
1-2	212	208	236	224	220
2-3	208	204	232	208	213
3-4	216	208	204	212	210
4-5	212	224	220	204	215
5-6	212	304	276	312	276
6-7	308	364	352	304	332
7-8	400	356	396	404	389
8-9	408	380	376	400	391
9-10	376	380	356	396	377
10-11	396	356	344	328	356
11-12	312	324	300	312	312
12-13	316	336	316	320	322
13-14	316	288	324	288	304
14-15	312	292	328	292	306
15-16	328	304	312	260	301
16-17	312	288	276	304	295
17-18	252	284	280	252	267
18-19	304	296	296	320	304
19-20	304	288	300	288	295
20-21	300	304	256	296	289
21-22	296	264	308	272	285
22-23	276	272	252	284	271
23-0	220	244	256	216	234
Celkem					7000 kWh
Čth. max.	(8:15)				408 kW



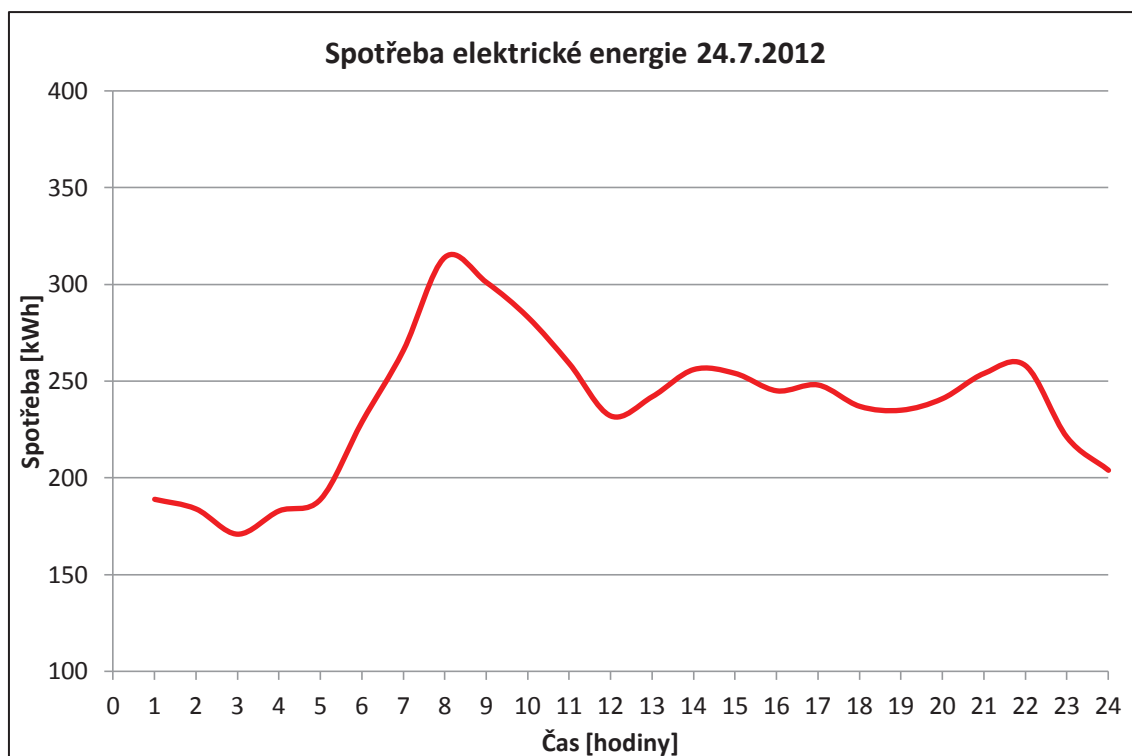
Hlavní měření spotřeby elektrické energie - 16.7.2012 0:00 - 17.7.2012 0:00

Hodina	1/4	2/4	3/4	4/4	Celkem
0-1	184	163	200	158	180
1-2	196	168	184	172	180
2-3	164	184	164	196	177
3-4	172	188	172	200	183
4-5	176	180	176	188	180
5-6	200	192	212	208	203
6-7	224	244	256	248	243
7-8	232	252	264	276	256
8-9	248	284	244	256	258
9-10	236	240	268	236	245
10-11	252	280	288	292	278
11-12	288	288	348	312	309
12-13	300	284	300	272	289
13-14	340	288	312	260	300
14-15	280	272	296	268	279
15-16	256	288	254	240	262
16-17	264	220	280	236	250
17-18	260	268	248	260	259
18-19	236	296	280	280	273
19-20	288	268	292	264	278
20-21	296	252	292	284	281
21-22	284	288	276	304	288
22-23	296	316	252	280	286
23-0	223	252	224	236	235
Celkem					5972 kWh
Čth. max.	(11:45)				348 kW



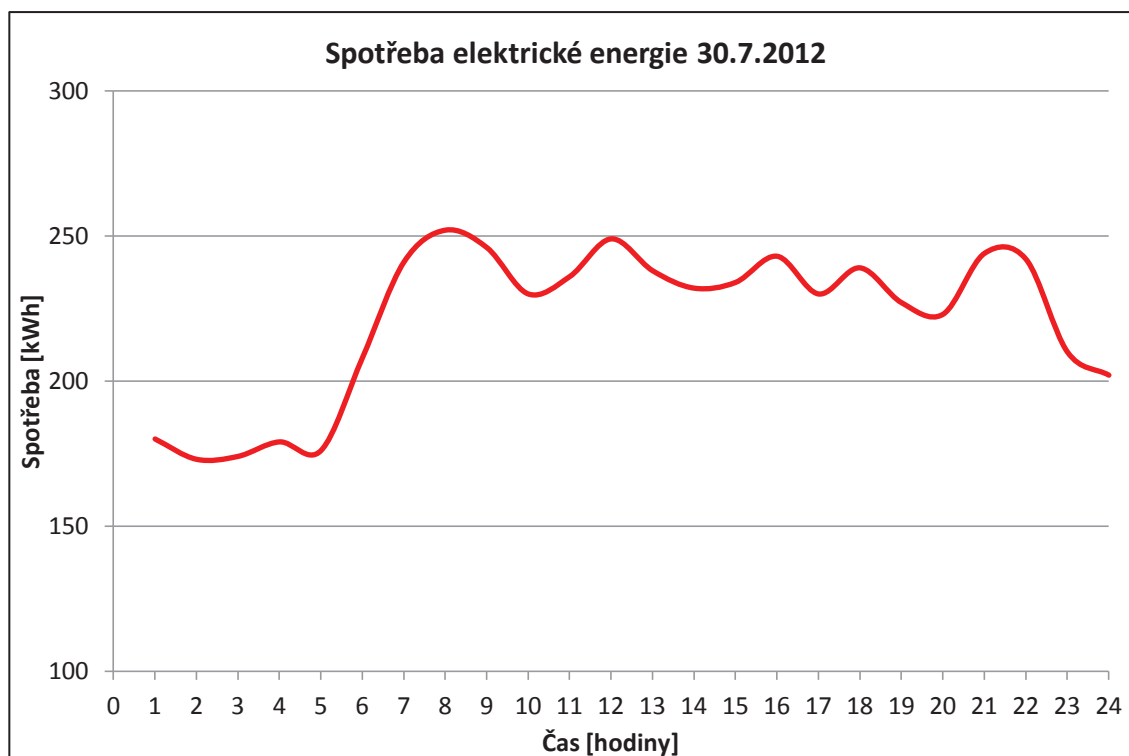
Hlavní měření spotřeby elektrické energie - 24.7.2012 0:00 - 25.7.2012 0:00

Hodina	1/4	2/4	3/4	4/4	Celkem
0-1	208	184	180	134	189
1-2	188	188	172	188	184
2-3	168	176	176	164	171
3-4	188	172	200	172	183
4-5	188	180	204	184	189
5-6	220	216	240	240	229
6-7	232	284	288	260	266
7-8	316	328	312	300	314
8-9	292	324	300	288	301
9-10	272	276	296	288	283
10-11	260	236	288	252	259
11-12	240	236	212	240	232
12-13	260	240	248	220	242
13-14	244	240	268	272	256
14-15	240	260	256	260	254
15-16	228	248	256	243	245
16-17	248	252	252	240	248
17-18	264	224	220	240	237
18-19	216	232	256	236	235
19-20	240	244	232	248	241
20-21	252	268	248	248	254
21-22	272	236	260	264	258
22-23	220	236	216	212	221
23-0	196	216	192	212	204
Celkem					5695 kWh
Čth. max.	(7:30)				328 kW



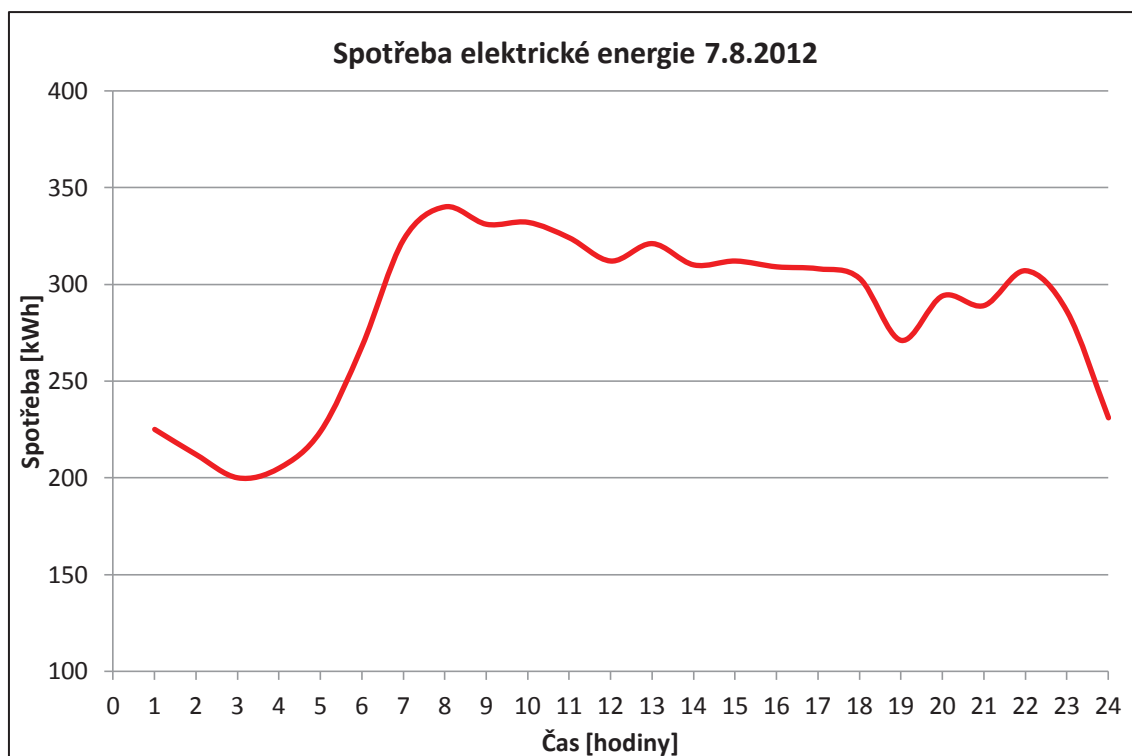
Hlavní měření spotřeby elektrické energie - 30.7.2012 0:00 - 30.7.2012 0:00

Hodina	1/4	2/4	3/4	4/4	Celkem
0-1	188	164	172	196	180
1-2	164	188	176	164	173
2-3	200	160	164	172	174
3-4	168	196	172	180	179
4-5	164	176	192	172	176
5-6	200	192	204	236	208
6-7	212	232	244	276	241
7-8	284	244	240	240	252
8-9	260	248	236	240	246
9-10	220	232	224	244	230
10-11	240	212	236	256	236
11-12	236	272	272	216	249
12-13	236	228	256	232	238
13-14	248	232	220	228	232
14-15	228	256	228	224	234
15-16	232	232	248	260	243
16-17	200	236	240	244	230
17-18	224	260	232	240	239
18-19	212	240	220	236	227
19-20	232	216	228	216	223
20-21	244	232	264	236	244
21-22	244	264	220	240	242
22-23	216	208	220	196	210
23-0	212	204	192	200	202
Celkem					5308 kWh
Čth. max.	(7:15)				284 kW



Hlavní měření spotřeby elektrické energie - 7.8.2012 0:00 - 8.8.2012 0:00

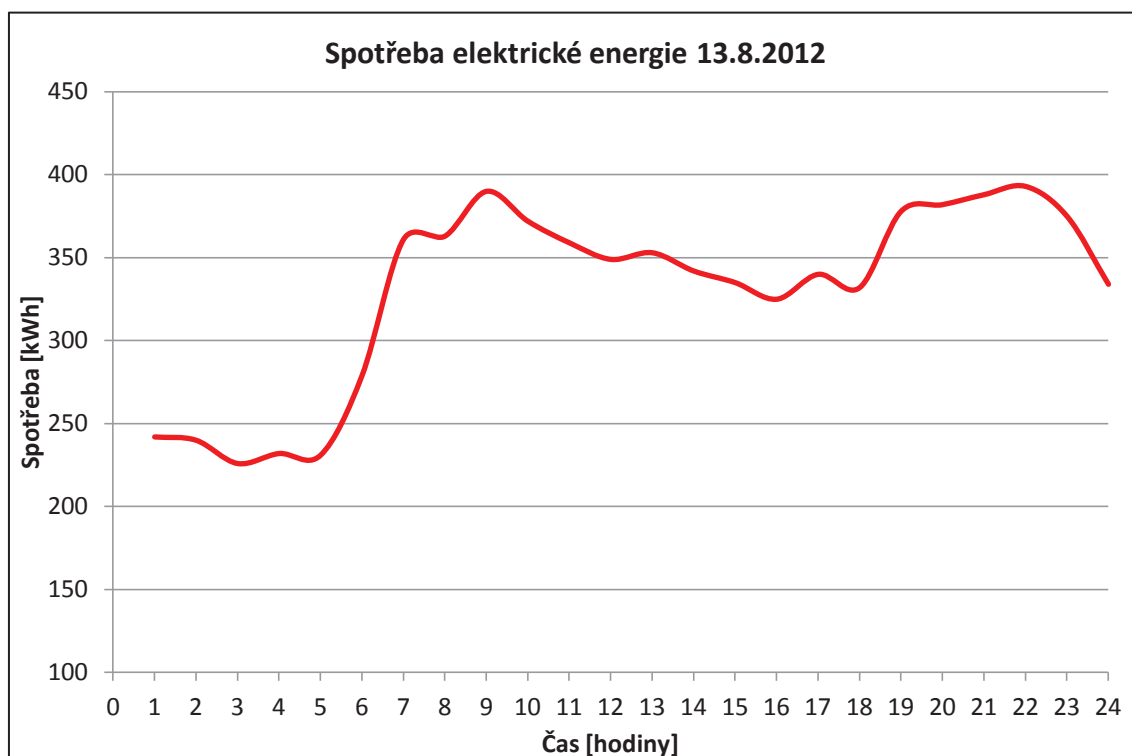
Hodina	1/4	21'4	3/4	4/4	Celkem
0-1	256	248	192	204	225
1-2	200	196	208	244	212
2-3	196	200	200	204	200
3-4	212	208	196	204	205
4-5	256	212	220	208	224
5-6	244	268	264	296	268
6-7	296	348	360	288	323
7-8	364	354	328	304	340
8-9	360	316	292	356	331
9-10	332	324	344	328	332
10-11	320	320	328	328	324
11-12	324	320	300	304	312
12-13	308	320	336	320	321
13-14	312	316	308	304	310
14-15	320	308	308	312	312
15-16	308	304	316	308	309
16-17	312	308	320	292	308
17-18	300	320	296	296	303
18-19	260	288	252	284	271
19-20	292	256	304	324	294
20-21	272	304	304	276	289
21-22	312	304	312	300	307
22-23	284	264	292	304	286
23-0	220	248	220	236	231
Celkem					6837 kWh
Čth. max.	(7:15)				364 kW



Kombinovaná výroba tepla a elektrické energie
C. Experimentální část

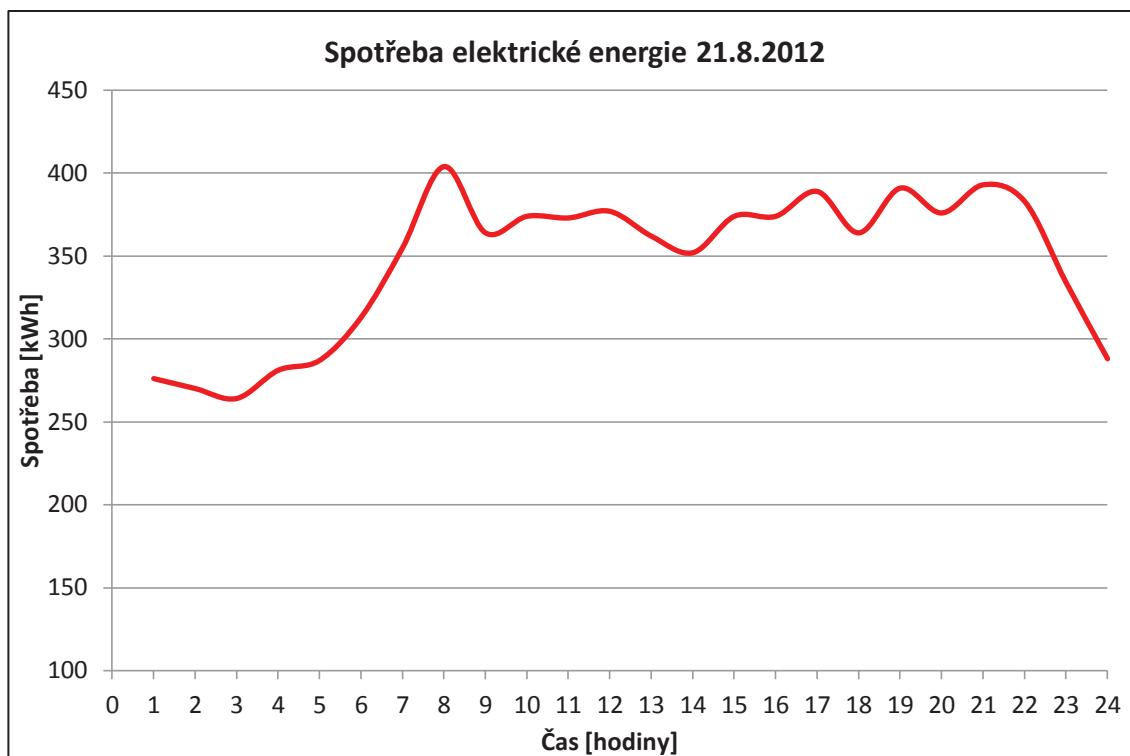
Hlavní měření spotřeby elektrické energie - 13.8.2012 0:00 - 14.8.2012 0:00

Hodina	1/4	2/4	3/4	4/4	Celkem
0-1	256	236	228	248	242
1-2	252	232	236	240	240
2-3	236	224	216	228	226
3-4	244	228	216	240	232
4-5	240	212	228	244	231
5-6	232	248	320	316	279
6-7	360	344	364	376	361
7-8	343	380	352	372	363
8-9	384	404	392	380	390
9-10	404	356	344	384	372
10-11	404	360	344	328	359
11-12	360	356	344	336	349
12-13	332	360	344	376	353
13-14	336	328	352	352	342
14-15	348	320	332	340	335
15-16	336	320	324	320	325
16-17	320	344	352	344	340
17-18	328	328	328	344	332
18-19	360	388	384	380	378
19-20	388	372	388	380	382
20-21	364	388	400	400	388
21-22	388	388	384	412	393
22-23	384	376	376	364	375
23-0	360	336	340	300	334
Celkem					7621 kWh
Čth max.	(22:00)				412 kW



Hlavní měření spotřeby elektrické energie - 21.8.2012 0:00 - 22.8.2012 0:00

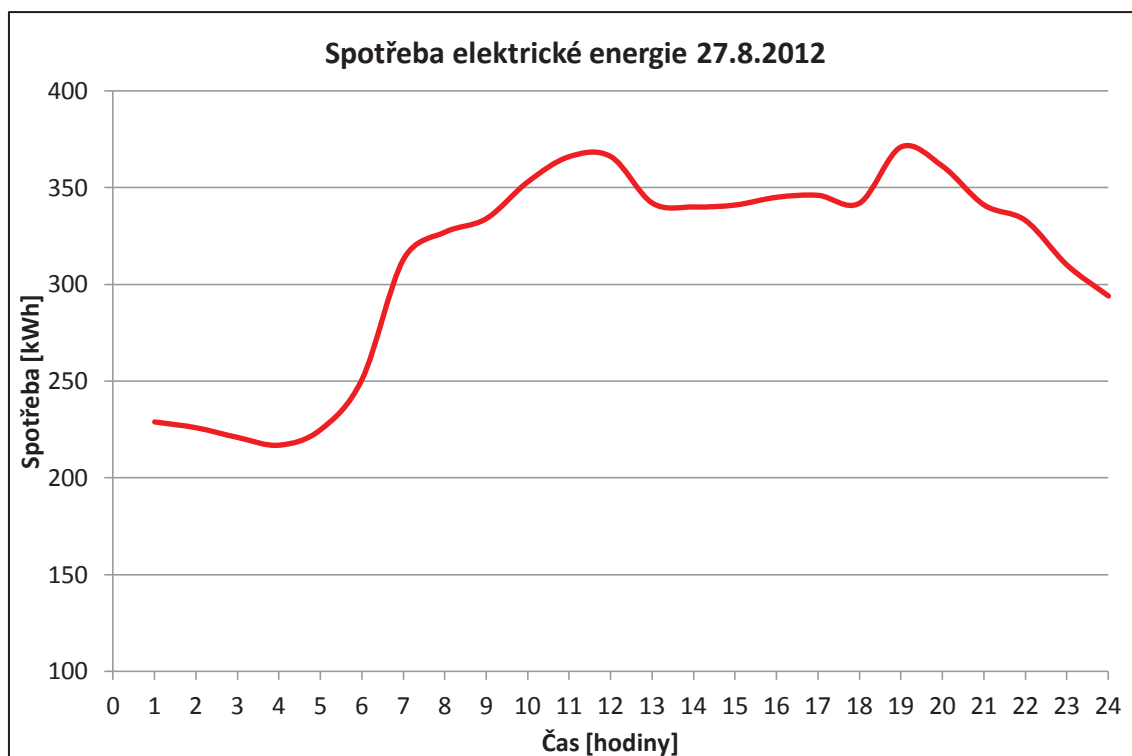
Hodina	1/4	2/4	3/4	4/4	Celkem
0- 1	258	280	268	288	275
1-2	284	256	276	264	270
2-3	276	252	256	272	264
3-4	280	292	292	260	281
4-5	252	312	296	288	287
5-6	292	312	320	328	313
6-7	328	380	352	360	355
7-8	388	428	412	388	404
8-9	372	396	372	316	364
9-10	356	380	380	380	374
10-11	388	368	356	380	373
11-12	392	376	372	368	377
12-13	360	360	360	368	362
13-14	352	352	340	364	352
14-15	372	368	384	372	374
15-16	388	360	364	334	374
15-17	388	440	364	364	389
17-18	364	360	368	364	364
18-19	392	388	388	396	391
19-20	380	368	384	372	376
20-21	396	380	406	388	393
21-22	380	380	396	376	383
22-23	368	344	320	304	334
23-0	280	292	292	288	288
Celkem					8318
Čth. max.	(16:30)				440



Kombinovaná výroba tepla a elektrické energie
C. Experimentální část

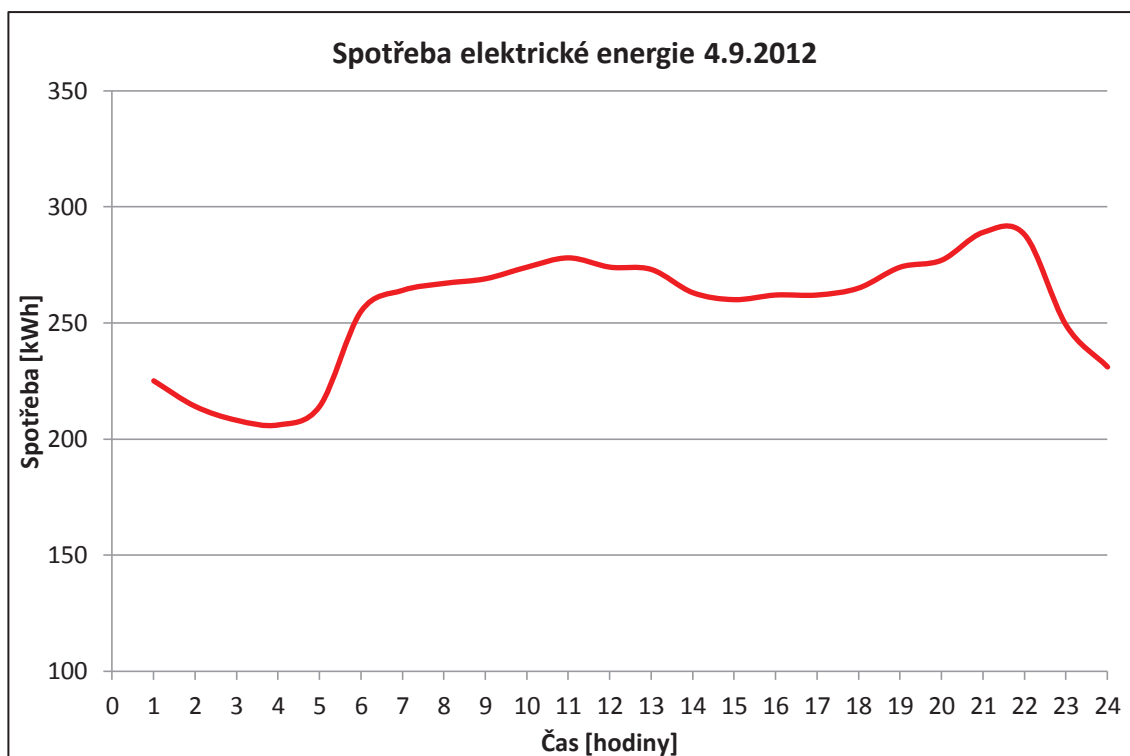
Hlavní měření spotřeby elektrické energie - 27.8.2012 0:00 - 28.8.2012 0:00

Hodina	1/4	2/4	3/4	4/4	Celkem
0-1	244	228	220	224	229
1-2	220	232	228	224	226
2-3	220	228	216	220	221
3-4	220	216	212	220	217
4-5	208	236	228	228	225
5-6	228	240	260	276	251
6-7	296	300	312	344	313
7-8	320	320	332	336	327
8-9	340	356	332	308	334
9-10	288	364	380	380	353
10-11	372	376	360	356	366
11-12	376	372	368	348	366
12-13	340	344	348	336	342
13-14	356	340	324	340	340
14-15	352	352	328	332	341
15-16	356	340	352	332	345
16-17	348	348	340	348	346
17-18	328	348	352	340	342
18-19	372	380	372	360	371
19-20	344	368	368	364	361
20-21	344	332	344	344	341
21-22	352	332	324	324	333
22-23	308	320	304	308	310
23-0	312	292	292	280	294
Celkem					7494 kWh
Čth. max.	(9:45)				330 kW



Hlavní měření spotřeby elektrické energie - 4.9.2012 0:00 - 5.9.2012 0:00

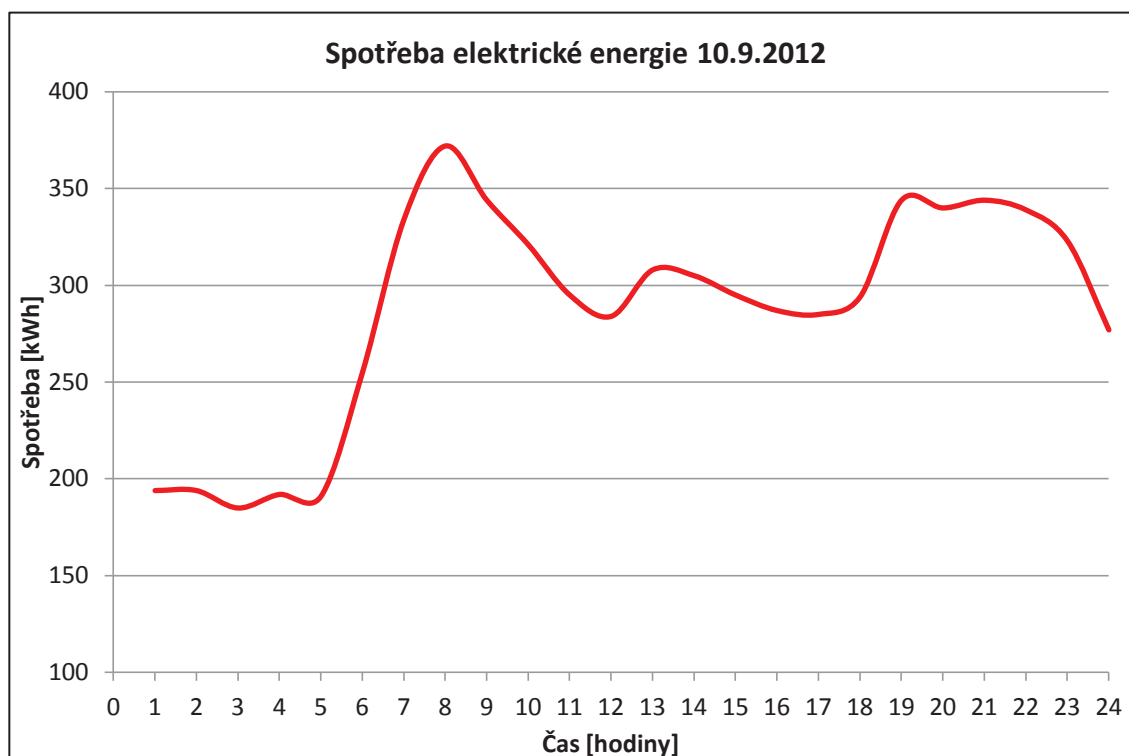
Hodina	1/4	2/4	3/4	4/4	Celkem
0-1	228	220	216	236	225
1-2	216	212	212	216	214
2-3	204	204	220	204	208
3-4	196	208	208	212	206
4-5	200	212	204	240	214
5-6	244	272	236	268	255
6-7	244	280	240	292	264
7-8	252	292	236	288	267
8-9	232	316	244	284	269
9-10	264	284	272	276	274
10-11	272	300	268	272	278
11-12	268	284	272	272	274
12-13	272	272	276	272	273
13-14	272	264	256	260	263
14-15	256	260	264	260	260
15-16	260	268	260	260	262
16-17	250	264	264	260	262
17-18	260	268	264	268	265
18-19	268	272	272	284	274
19-20	268	280	280	280	277
20-21	288	284	292	292	289
21-22	296	288	292	276	288
22-23	252	248	252	244	249
23-0	232	232	236	224	231
Celkem					6141 kWh
Čth. max.	(8:30)				316 kW



Kombinovaná výroba tepla a elektrické energie
C. Experimentální část

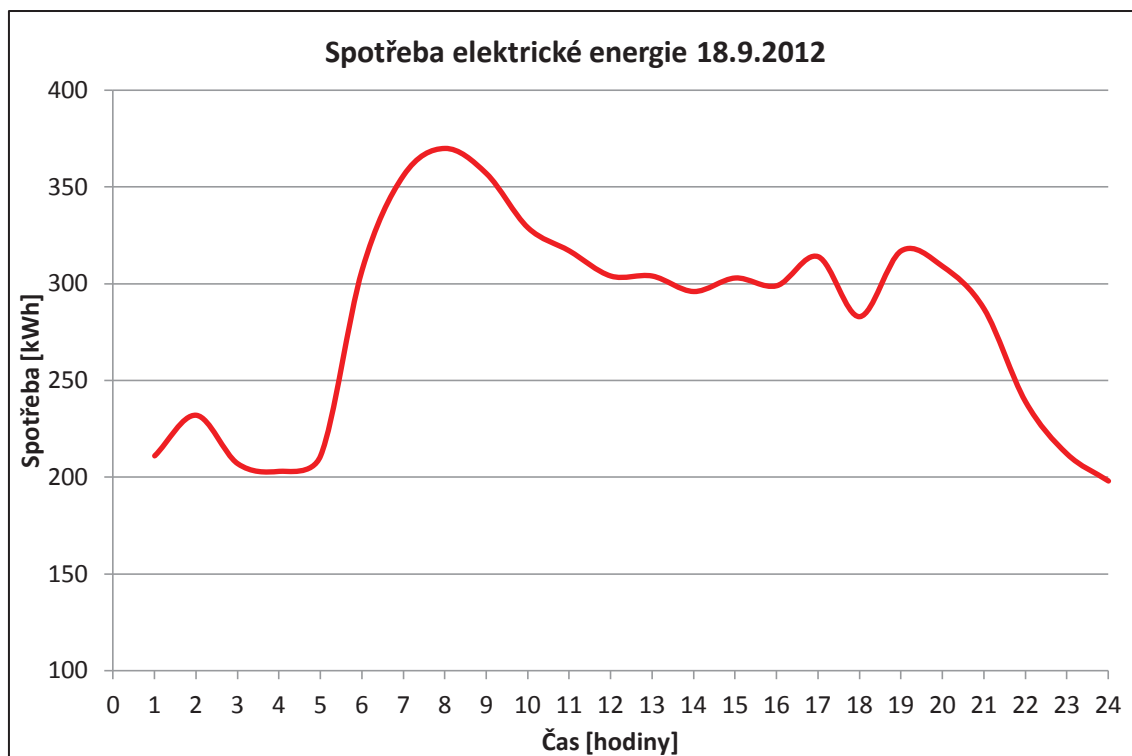
Hlavní měření spotřeby elektrické energie - 10.9.2012 0:00 - 11.9.2012 0:00

Hodina	1/4	2/4	3/4	4/4	Celkem
0-1	208	188	196	184	194
1-2	200	196	184	196	194
2-3	180	184	184	192	185
3-4	196	188	200	184	192
4-5	192	192	188	192	191
5-6	212	244	276	288	255
6-7	312	336	348	340	334
7-8	356	380	392	360	372
8-9	360	332	316	368	344
9-10	344	316	328	296	321
10-11	296	308	308	268	295
11-12	272	276	292	296	284
12-13	316	304	304	308	308
13-14	300	308	308	304	305
14-15	296	304	304	276	295
15-16	280	288	280	300	287
16-17	288	300	276	276	285
17-18	264	284	304	324	294
18-19	316	340	360	360	344
19-20	352	360	308	340	340
20-21	344	344	348	340	344
21-22	340	344	344	328	339
22-23	340	312	320	320	323
23-0	296	268	264	260	277
Celkem					6902 kWh
Čth. max.	(7:45)				392 kW



Hlavní měření spotřeby elektrické energie - 18.9.2012 0:00 - 19.9.2012 0:00

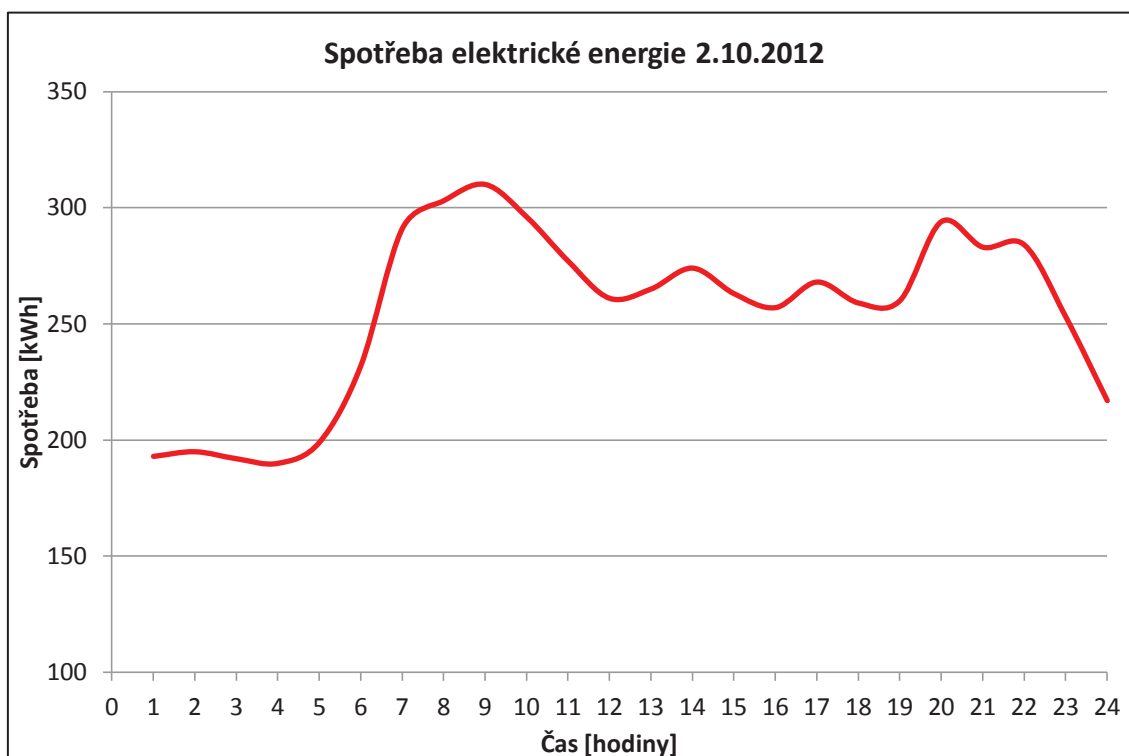
Hodina	1/4	2/4	3/4	4/4	Celkem
0- 1	204	192	208	240	211
1-2	248	240	236	204	232
2-3	188	200	220	220	207
3-4	208	212	208	184	203
4-5	192	216	216	220	211
5-6	248	300	328	352	307
6-7	388	368	328	340	356
7-8	340	384	384	372	370
8-9	388	352	344	344	357
9-10	312	340	332	332	329
10-11	308	324	316	320	317
11-12	300	296	320	300	304
12-13	300	308	292	316	304
13-14	292	332	284	276	296
14-15	296	300	312	304	303
15-16	300	292	288	316	299
16-17	292	324	308	332	314
17-18	284	280	300	268	283
18-19	276	324	360	308	317
19-20	356	328	264	288	309
20-21	296	292	284	276	287
21-22	244	236	248	228	239
22-23	224	216	200	208	212
23-0	192	208	196	196	198
Celkem					6765 kWh
Čth. max.	(6:15)				388 kW



Kombinovaná výroba tepla a elektrické energie
C. Experimentální část

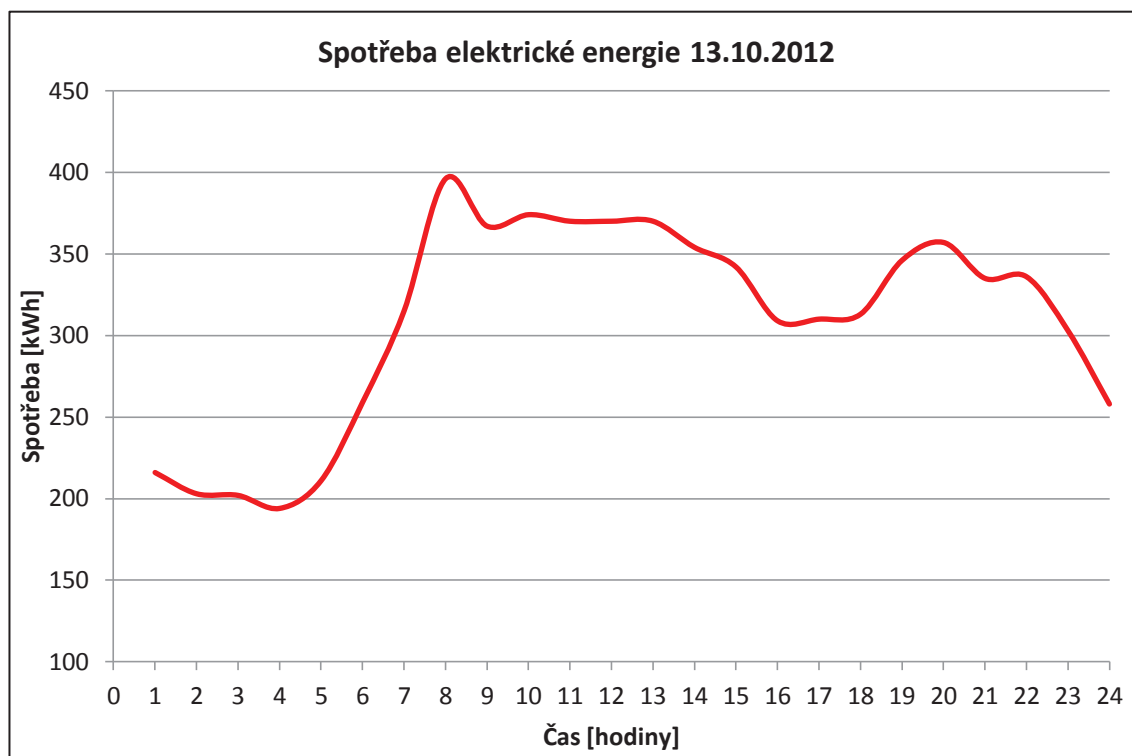
Hlavní měření spotřeby elektrické energie - 2.10.2012 0:00 - 3.10.2012 0:00

Hodina	1/4	2/4	3/4	4/4	Celkem
0- 1	192	208	130	192	193
1-2	212	196	188	184	195
2-3	196	176	188	208	192
3-4	184	184	176	216	190
4-5	184	196	204	212	199
5-6	208	212	248	260	232
6-7	292	280	300	292	291
7-8	320	300	292	300	303
8-9	336	292	296	316	310
9-10	284	296	288	316	296
10-11	276	256	296	280	277
11-12	260	276	240	268	261
12-13	240	292	268	260	265
13-14	276	264	300	256	274
14-15	272	264	240	276	263
15-16	252	260	260	256	257
16-17	280	240	280	272	268
17-18	252	272	244	268	259
18-19	264	252	272	252	260
19-20	276	300	284	316	294
20-21	276	264	296	296	283
21-22	276	304	284	272	284
22-23	284	248	240	240	253
23-0	220	220	232	196	217
Celkem					6116 kWh
Čth. max	(8:15)				336 kW



Hlavní měření spotřeby elektrické energie - 13.10.2012 0:00 - 14.10.2012 0:00

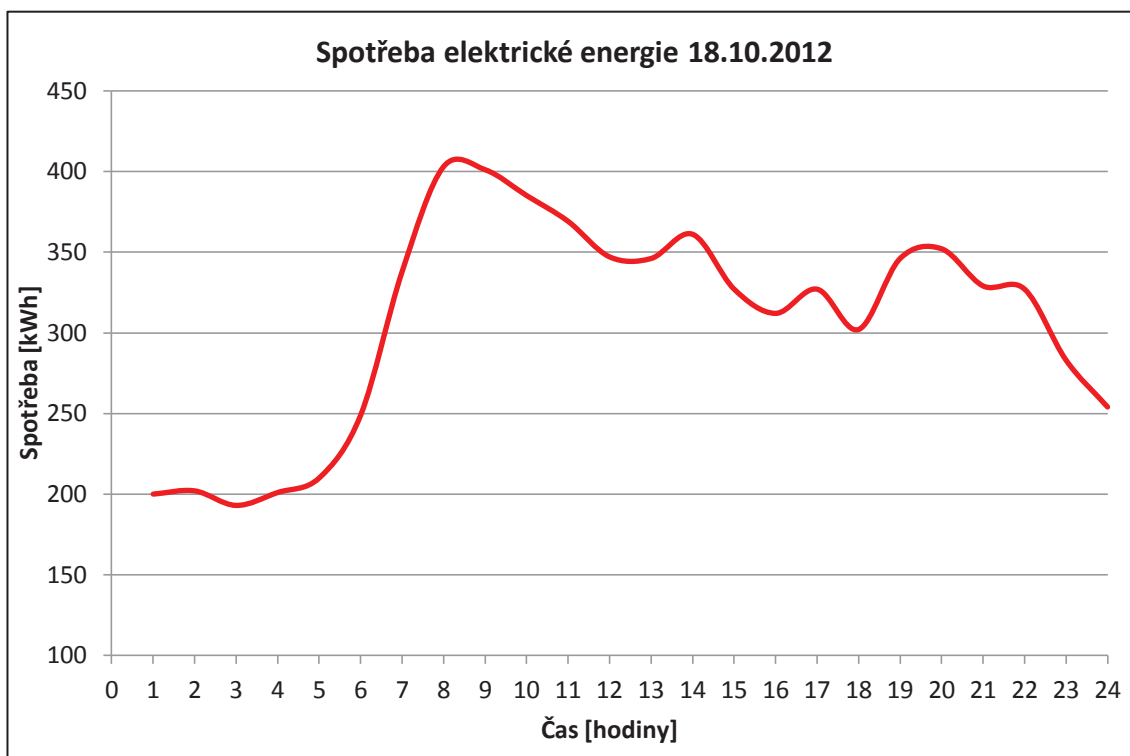
Hodina	1/4	2/4	3/4	4/4	Celkem
0-1	224	228	208	204	216
1-2	196	200	220	196	203
2-3	192	200	196	220	202
3-4	200	192	192	192	194
4-5	220	200	204	220	211
5-6	244	260	248	284	259
6-7	308	292	316	344	315
7-8	360	408	404	412	396
8-9	376	360	360	372	367
9-10	392	360	372	372	374
10-11	368	388	372	352	370
11-12	372	348	368	392	370
12-13	376	388	364	352	370
13-14	372	340	348	356	354
14-15	320	344	356	348	342
15-16	328	304	300	304	309
16-17	308	312	300	320	310
17-18	308	312	328	304	313
18-19	324	332	376	352	346
19-20	368	340	336	384	357
20-21	348	332	336	324	335
21-22	352	328	332	332	336
22-23	332	320	284	276	303
23-0	276	256	256	244	258
Celkem					7410 kWh
Čth. max. (8:00)					412 kW



Kombinovaná výroba tepla a elektrické energie
C. Experimentální část

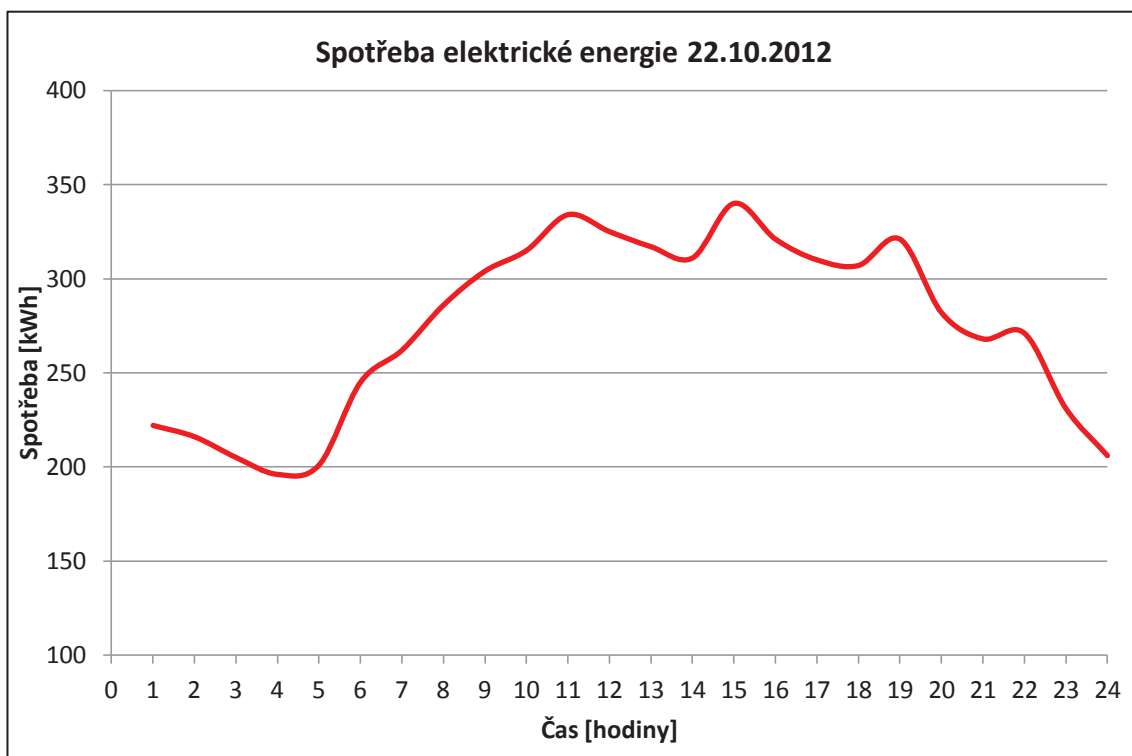
Hlavní měření spotřeby elektrické energie - 18.10.2012 0:00 - 19.10.2012 0:00

Hodina	1/4	2/4	3/4	4/4	Celkem
0-1	200	204	200	196	200
1-2	192	208	200	208	202
2-3	196	188	188	200	193
3-4	200	216	188	200	201
4-5	188	208	212	232	210
5-6	216	244	264	272	249
6-7	296	312	360	384	338
7-8	396	416	404	396	403
8-9	408	388	400	408	401
9-10	400	372	376	392	385
10-11	392	384	348	352	369
11-12	352	348	344	344	347
12-13	336	340	344	364	346
13-14	372	360	368	344	361
14-15	336	324	324	324	327
15-16	324	324	304	296	312
16-17	320	320	360	308	327
17-18	300	308	296	304	302
18-19	344	360	340	340	346
19-20	348	356	360	344	352
20-21	336	332	332	316	329
21-22	324	352	320	312	327
22-23	292	280	276	284	283
23-0	264	260	252	240	254
Celkem					7364 kWh
Čth. max.	(7:30)				416 kW



Hlavní měření spotřeby elektrické energie - 22.10.2012 0:00 - 23.10.2012 0:00

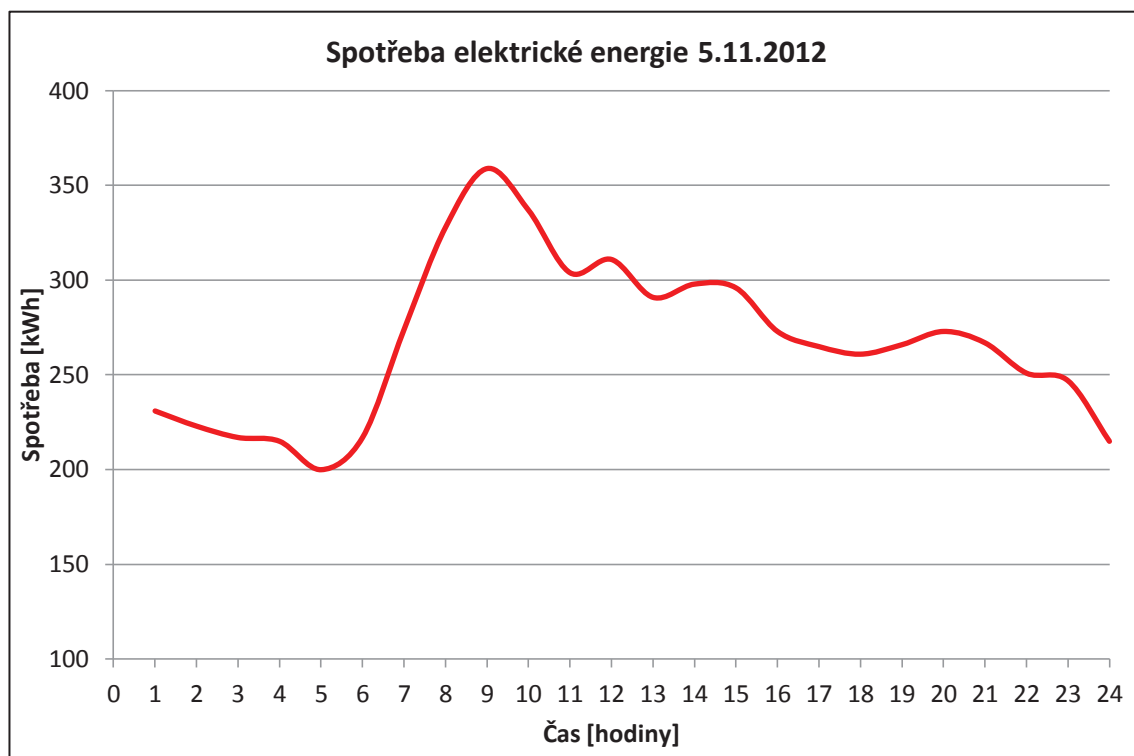
Hodina	1/4	2/4	3/4	4/4	Celkem
0-1	228	220	220	220	222
1-2	220	220	216	208	216
2-3	208	212	204	196	205
3-4	204	192	192	196	196
4-5	204	200	204	196	201
5-6	220	252	264	244	245
6-7	252	252	268	276	262
7-8	268	308	288	280	286
8-9	292	324	308	292	304
9-10	300	324	300	336	315
10-11	324	340	320	352	334
11-12	328	324	340	308	325
12-13	292	324	332	320	317
13-14	300	300	308	336	311
14-15	332	336	336	356	340
15-16	332	310	304	332	321
16-17	340	332	280	288	310
17-18	296	300	328	304	307
18-19	328	344	320	292	321
19-20	284	284	272	288	282
20-21	260	264	260	288	268
21-22	272	288	272	252	271
22-23	256	236	212	220	231
23-0	212	208	208	196	206
Celkem					6596 kWh
Čth. max	(15:00)				356 kW



Kombinovaná výroba tepla a elektrické energie
C. Experimentální část

Hlavní měření spotřeby elektrické energie - 5.11.2012 0:00 - 6.11.2012 0:00

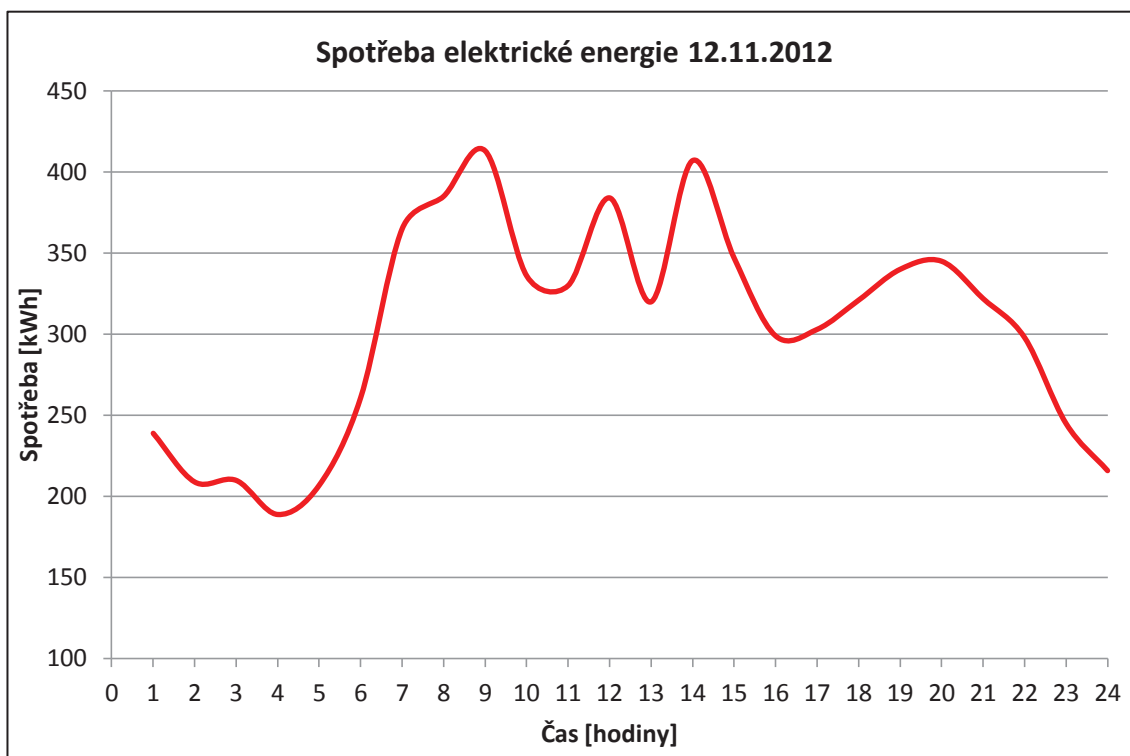
Hodina	1/4	2/4	3/4	4/4	Celkem
0-1	244	232	223	220	231
1-2	220	224	228	220	223
2-3	224	212	208	224	217
3-4	224	216	208	212	215
4-5	200	200	200	200	200
5-6	200	228	220	220	217
6-7	252	256	284	304	274
7-8	300	320	340	352	328
8-9	336	363	356	384	359
9-10	364	348	320	316	337
10-11	324	312	284	296	304
11-12	320	332	316	276	311
12-13	300	296	288	280	291
13-14	300	300	296	296	298
14-15	312	300	288	284	296
15-16	268	280	264	280	273
16-17	272	276	252	260	265
17-18	260	244	260	280	261
18-19	260	272	260	272	266
19-20	288	276	260	268	273
20-21	264	256	276	272	267
21-22	260	252	244	248	251
22-23	264	248	240	236	247
23-0	228	216	216	200	215
Celkem					6419 kWh
Čth. max.	(9:00)				334 kW



Kombinovaná výroba tepla a elektrické energie
C. Experimentální část

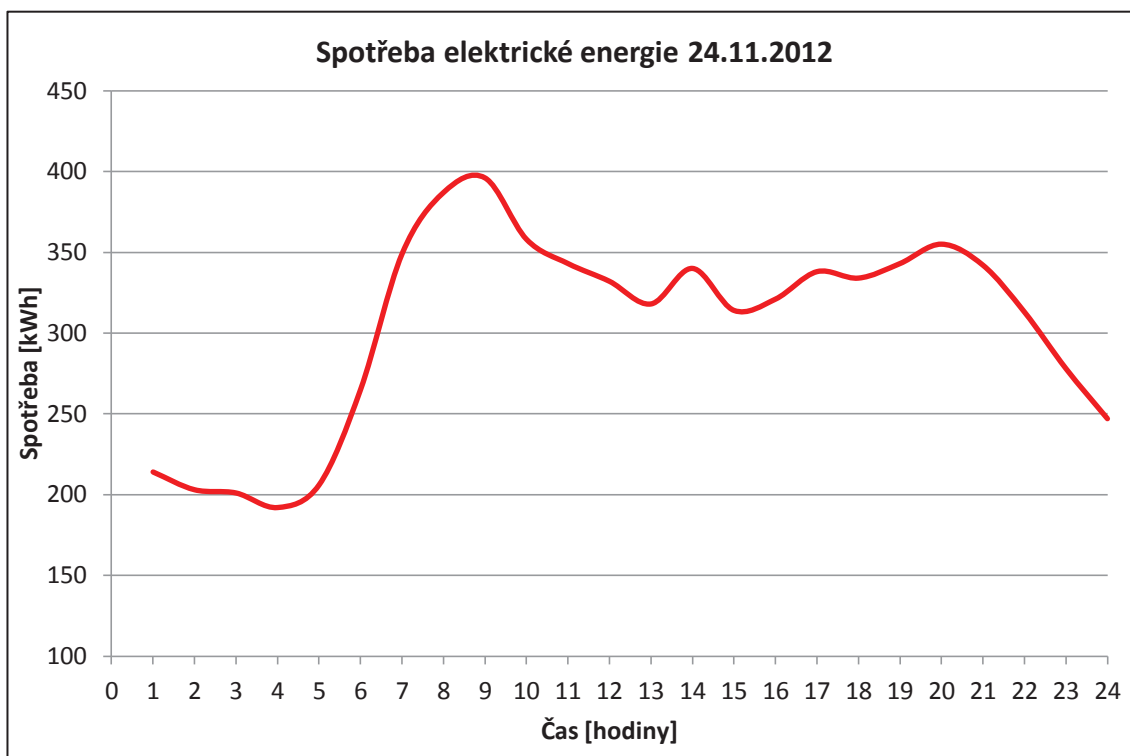
Hlavní měření spotřeby elektrické energie - 12.11.2012 0:00 - 13.11.2012 0:00

Hodina	1/4	2/4	3/4	4/4	Celkem
0-1	255	252	232	218	239
1-2	208	210	208	211	209
2-3	217	216	204	203	210
3-4	193	188	186	188	189
4-5	190	221	211	207	207
5-6	216	242	290	296	261
6-7	326	373	393	367	365
7-8	382	393	374	389	385
8-9	417	422	389	424	413
9-10	382	342	325	296	336
10-11	299	337	337	347	330
11-12	351	371	414	400	384
12-13	343	308	316	314	320
13-14	370	410	432	417	407
14-15	373	343	340	329	347
15-16	299	282	301	314	299
16-17	309	299	292	312	303
17-18	300	324	331	330	321
18-19	340	349	326	344	340
19-20	356	348	340	335	345
20-21	327	318	325	318	322
21-22	312	294	296	290	298
22-23	272	246	239	221	245
23-0	219	223	210	212	216
Celkem					7291 kWh
Čth. max.	(13:45)				432 kW



Hlavní měření spotřeby elektrické energie - 24.11.2012 0:00 - 25.11.2012 0:00

Hodina	1/4	2/4	3/4	4/4	Celkem
0-1	222	216	210	207	214
1-2	204	203	200	205	203
2-3	204	204	197	200	201
3-4	194	194	189	191	192
4-5	189	215	211	207	206
5-6	235	269	276	278	265
6-7	303	350	369	373	349
7-8	365	373	406	405	387
8-9	411	396	376	400	396
9-10	373	370	334	355	358
10-11	351	336	329	357	343
11-12	348	339	340	304	332
12-13	322	310	310	331	318
13-14	345	334	342	339	340
14-15	332	308	301	315	314
15-16	321	330	318	315	321
16-17	329	337	339	345	338
17-18	321	334	340	342	334
18-19	321	343	348	357	343
19-20	359	358	370	332	355
20-21	357	334	324	353	342
21-22	331	312	315	294	313
22-23	282	282	285	261	278
23-0	258	259	239	233	247
Celkem					7288 kWh
Čth. max.	(8:15)				411 kW



Seznam použité literatury

- [1] Sdružení pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla COGEN czech. COGEN CZECH. *Http://www.cogen.cz/* [online]. 2013 [cit. 2013-12-23]. Dostupné z: <http://www.cogen.cz/download/357.pdf>
- [2] JAROSLAV KRBEK, Bohumil Polesný. *Kogenerační jednotky - zřizování a provoz*. 1. vyd. Praha: GAS, 2007. ISBN 978-807-3281-519.
- [3] DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 281 s. ISBN 80-730-0118-7.
- [4] PRAŽSKÁ TEPLÁRENSKÁ A.S. *Princip společné výroby tepelné a elektrické energie | Pražská teplárenská a.s.* [online]. 2013 [cit. 2013-12-23]. Dostupné z: <http://www.ptas.cz/cs/dodavky-tepla/jak-to-funguje/schema-vyroby-a-dodavek-tepla/princip-spolecne-vyroby-tepelne-a-elektricke-energie/>
- [5] MOTORGAS S.R.O. *Kogenerační jednotky, kogenerace, trigenerace, plynové motory* Praha, 2012. Dostupné z: http://www.motorgas.cz/gallery/2/778typlist_mgm40_indoor_zp_500mgnox_cz.pdf
- [6] SMETANOVÁ, Denisa. *Kogenerační jednotka* [online]. 2012 [cit. 2013-12-23]. ISBN 978-80-01-05071-2. Dostupné z: <http://www1.fs.cvut.cz/stretech/2012/sbornik/6.pdf>
- [7] DR. ING. KUBÍN, Milan. *Kogenerační technologie pro odbornou praxi*. Brno, 2013.
- [8] ING. DLOUHÝ, Tomáš, CSc. ČVUT PRAHA FSI. *Kotelny a kogenerační jednotky* [online]. Praha, 2002 [cit. 2013-12-23]. Dostupné z: <http://fsinet.fsid.cvut.cz/cz/U207/U2072/projektII.pdf>
- [9] BAŠTA, Jiří. *Topenářská příručka: 120 let topenářství v Čechách a na Moravě*. 1. vyd. Praha: GAS, 2001, 2395 s. ISBN 80-86176-82-71.
- [10] RAEN SPOL, s.r.o. *Návrh a provoz kogeneračních jednotek*. Praha, 2000. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/008153.pdf>
- [11] Data provozovatele nemovitosti
- [12] TEDOM A.S. *06_TS_Cento T200_PK_D01_zm.F_*. Hořovice, 2012.

- [13] Účet za elektřinu. Za co vlastně platíme?. VINŠOVÁ, Michalela. *Peníze.cz* [online]. 2013 [cit. 2013-12-23]. Dostupné z: <http://www.penize.cz/nakupy/259853-ucet-za-elektřinu-za-co-vlastne-platime>
- [14] FREEMETEO.COM. *Počasí Brno: Historie počasí: Denní archiv* [online]. 2012 [cit. 2013-12-23]. Dostupné z: <http://www.freemeteo.com/default.asp?pid=155&la=12&gid=3078610&monthFrom=1&yearFrom=2012&sid=117230>
- [15] 1. Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 5/2013 ze dne 27. listopadu 2013, kterým se stanovují regulované ceny související s dodávkou elektřiny. In: Jihlava, 2013. Dostupné z: http://www.eru.cz/user_data/files/ERV/2013/ERV8_2013_titul_konec_fin.pdf
- [16] 1. Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 4/2013 ze dne 27. listopadu 2013, kterým se stanovuje podpora pro podporované zdroje energie. In: Jihlava, 2013. Dostupné z: http://www.eru.cz/user_data/files/ERV/2013/ERV7_2013titul_konec_fi.pdf
- [17] ING. BRONISLAV, Bechník, Ph.D. Změna systému výplaty podpory obnovitelných zdrojů od 1. ledna 2013. *TZB-info* [online]. 2012 [cit. 2013-12-23]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/9299-zmena-systemu-vyplaty-podpory-obnovitelnych-zdroju-od-1-ledna-2013>
- [18] Zpracováno E.ON Energie, a.s. na základě poskytnutých dat

Seznam použitých zkratk

KJ, KGJ	kogenerační jednotka
KVET	kombinovaná výroba elektrické energie a tepla
ORC	organický rankinův cyklus
H_T	měrná spotřeba páry pro vytápění a vzduchotechniku
H_{TP}	průměrná měrná spotřeba páry pro vytápění a vzduchotechniku
ČOV	čistírna odpadních vod
NT	nízkotlaká pára
VT	vysokotlaká pára
ZP	zemní plyn
LTO	lehký topný olej
TV	teplá voda
ÚT	ústřední vytápění
VZT	vzduchotechnika
CZT	centralizované zásobování teplem
PS	předávací stanice tepla
TČ	tepelné čerpadlo
OTE	operátor trhu
OZE	obnovitelný zdroj energie
ERÚ	energetický regulační úřad

Seznam tabulek

TAB. A 1 - 1 ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ ÚDAJE KOGENERAČNÍCH TECHNOLOGIÍ [7].....	13
TAB. A 2 - 1 KOGENERAČNÍ JEDNOTKA S PARNÍ TURBÍNOU [3].....	28
TAB. A 2 - 2 KOGENERAČNÍ JEDNOTKA S PLYNOVOU TURBÍNOU [3].....	28
TAB. A 2 - 3 KOGENERAČNÍ JEDNOTKA S PAROPLYNOVÝM ZAŘÍZENÍM [3].....	29
TAB. A 2 - 4 PRIMÁRNÍ JEDNOTKA SE SPALOVACÍM MOTOREM [3].....	29
TAB. A 2 - 5 KOGENERAČNÍ JEDNOTKA S PALIVOVÝM ČLÁNKEM [3].....	29
TAB. A 2 - 6 KOGENERAČNÍ JEDNOTKA S EXPAZNÍ PLYNOVOU TURBÍNOU [3].....	30
TAB. A 2 - 7 KOGENERAČNÍ JEDNOTKA SE STIRLINGOVÝM MOTOREM [3].....	30
TAB. A 2 - 8 KOGENERAČNÍ JEDNOTKA S TEPELNÝM ČERPADLEM [3].....	30
TAB. A 2 - 9 KOGENERAČNÍ JEDNOTKA S MIKROTURBÍNOU[3].....	31

TAB. A 4 - 1 SROVNÁNÍ ŽIVOTNOSTI ZÁKLADNÍCH ČÁSTÍ MOTORU [8].....	40
TAB. B 2 - 1 STANOVENÍ PARAMETRU H_T PRO JEDNOTLIVÉ MĚSÍCE [11]	50
TAB. B 2 - 2 VÝPOČET VELIKOSTI ZDROJE DLE VENKOVNÍ TEPLoty [11]	51
TAB. B 2 - 3 PARAMETRY ZVOLENÝCH JEDNOTEK [12].....	54
TAB. B 2 - 4 ALGORITMUS ŘEŠENÍ JEDNOTKY T180	57
TAB. B 2 - 5 ALGORITMUS ŘEŠENÍ JEDNOTKY T200	60
TAB. B 2 - 6 POROVNÁNÍ VÝSLEDNÝCH HODNOT	63
TAB. B 2 - 7 PARAMETRY GENERÁTORU [12]	64
TAB. B 2 - 8 PARAMETRY MOTORU [12].....	65
TAB. B 2 - 9 PARAMETRY PRIMÁRNÍHO OKRUHU [12].....	66
TAB. B 2 - 10 PARAMETRY SEKUNDÁRNÍHO OKRUHU [12].....	66
TAB. B 2 - 11 PARAMETRY SPALIN [12]	66
TAB. B 2 - 12 PARAMETRY TECHNOLOGICKÉHO OKRUHU [12]	67
TAB. B 2 - 13 PARAMETRY ZEMNÍHO PLYNU [12].....	67
TAB. B 2 - 14 PARAMETRY SPALOVACÍHO A VENTILAČNÍHO VZDUCHU [12].....	68
TAB. B 2 - 15 PARAMETRY SPALIN A SPALINOVODU [12]	68
TAB. B 2 - 16 PARAMETRY HLUKU [12].....	69
TAB. B 2 - 17 ELEKTRICKÉ PARAMETRY [12]	69
TAB. B 2 - 18 ROZMĚRY A HMOTNOST JEDNOTKY [12]	69
TAB. B 3 - 1 SKLADBA CENY ELEKTRICKÉ ENERGIE [15].....	69
TAB. B 3 - 2 SKLADBA CENY ZEMNÍHO PLYNU [11].....	75
TAB. B 3 - 3 SHRNU TÍ POŘIZOVACÍCH NÁKLADŮ	76
TAB. B 3 - 4 SHRNU TÍ PROVOZNÍCH NÁKLADŮ.....	79
TAB. B 3 - 5 ZÁKLADNÍ SAZBA ROČNÍHO ZELENÉHO BONUSU [16]	80
TAB. B 3 - 6 DOPLŇKOVÁ SAZBA I K ZÁKLADNÍ SAZBĚ [16]	81
TAB. B 3 - 7 VÝŠE DOSAVADNÍCH PLATEB ZA MĚRNOU JEDNOTKU [11]	82
TAB. B 3 - 8 SOUHRN VSTUPNÍCH HODNOT	83
TAB. B 3 - 9 VÝPOČET PROSTÉ NÁVRATNOSTI	85
TAB. B 3 - 10 SROVNÁNÍ NÁVRATNOSTÍ VŠECH VYBRANÝCH JEDNOTEK	86

Seznam obrázků

OBR. A 1 - 1: BLOKOVÉ SCHÉMA KOGENERAČNÍ JEDNOTKY [5].....	8
OBR. A 1 - 2: ÚSPORA ENERGIÍ POMOCÍ KOGENERACE [6].....	9
OBR. A 1 - 3: ROZDĚLENÍ KOGENERAČNÍCH SYSTÉMŮ [3]	14

OBR. A 2 - 1: SCHÉMA KOGENERACE S PARNÍ PROTITLAKOU TURBÍNOU [2]	16
OBR. A 2 - 2: SCHÉMA KOGENERACE S PARNÍ KONDENZAČNÍ TURBÍNOU [2]	16
OBR. A 2 - 3: SCHÉMA KOGENERACE SE SPALOVACÍ TURBÍNOU [2]	17
OBR. A 2 - 4: SCHÉMA KOGENERACE SE SPALOVACÍ TURBÍNOU V PAROPLYNOVÉM PROVEDENÍ [2]	18
OBR. A 2 - 5: SCHÉMA KOGENERACE SE SPALOVACÍMI MOTORY [2]	20
OBR. A 2 - 6: SCHÉMA KOGENERACE S PALIVOVÝMI ČLÁNKY [2]	22
OBR. A 2 - 7: SCHÉMATA OBVYKLÉHO OHŘEVU ZEMNÍHO PLYNU PŘED EXPANZÍ [2]	23
OBR. A 2 - 8: PRINCIP PRÁCE STIRLINGOVA MOTORU [2]	24
OBR. A 2 - 9: ZJEDNODUŠENÉ SCHÉMA PRINCIPU TEPELNÉHO ČERPADLA [2]	25
OBR. A 2 - 10: TČ S PLYNOVÝM MOTOREM VYUŽÍVANÉ PRO OHŘEV TOPNÉ VODY [2]	26
OBR. A 2 - 11: SCHÉMA KOGENERAČNÍ JEDNOTKY S MIKROTURBÍNOU [3]	27
OBR. B 2 - 1: SCHÉMA KOGENERAČNÍ JEDNOTKY TEDOM CENTO T200 [12]	64
OBR. B 2 - 2: SPALOVACÍ MOTOR JEDNOTKY TEDOM CENTO T200 [12]	65
OBR. B 2 - 3: ROZMĚRY JEDNOTKY TEDOM CENTO T200 [12]	70
OBR. B 3 - 1: ÚZEMÍ ČR DLE PŮSOBNÍ DISTRIBUČNÍCH SPOLEČNOSTÍ [13]	702
OBR. B 3 - 2: FINANČNÍ TOKY VÝPLATY PODPORY VÝROBY ELEKTRICKÉ ENERGIE [17]	80

Seznam grafů

GRAF B 2 - 1 SPOTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE BĚHEM PRACOVNÍCH DNŮ [11]	48
GRAF B 2 - 2 SPOTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE BĚHEM VÍKENDŮ [11]	48
GRAF B 2 - 4 TEPLoty V ROCE 2012 [14]	52
GRAF B 2 - 3 ROČNÍ DIAGRAM ODBĚRU TEPLA	52
GRAF B 2 - 5 SPOTŘEBA PÁRY BĚHEM ROKU [11]	53
GRAF B 2 - 6 OPTIMALIZOVANÉ VARIANTY	55
GRAF B 2 - 7 TÝDENNÍ ODBĚROVÝ DIAGRAM JEDNOTKY T 180 [18]	56
GRAF B 2 - 8 POMĚR TEPLA VYROBENÉ KOGENERAČNÍ JEDNOTKOU T180 A PŘEDÁVACÍ STANICÍ [11]	56
GRAF B 2 - 9 TÝDENNÍ ODBĚROVÝ DIAGRAM JEDNOTKY T 200 BEZ NOČNÍHO ÚTLUMU [18]	59
GRAF B 2 - 10 POMĚR TEPLA VYROBENÉ KOGENERAČNÍ JEDNOTKOU T200 A PŘEDÁVACÍ STANICÍ [11]	59
GRAF B 2 - 11 TÝDENNÍ ODBĚROVÝ DIAGRAM SE SNÍŽENÝM NOČNÍM PROVOZEM [18]	62
GRAF B 3 - 2 NÁVRATNOST INVESTICE	85
GRAF B 3 - 3 POROVNÁNÍ NÁVRATNOSTÍ	86

Seznam příloh

Č. VÝKRESU	NÁZEV VÝKRESU	FORMÁT
C_01	STÁVAJÍCÍ SCHÉMA KOTELNY	5x1,5 A4
C_02	STÁVAJÍCÍ SCHÉMA OHŘEVU TEPLÉ VODY	4x1,5 A4
C_03	TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA KOGENERAČNÍ JEDNOTKY	4x A4
C_04	SCHÉMA KOTELNY S KOGENERAČNÍ JEDNOTKOU	12x A4